

13 Anhang

13.1 Produkte je Branche – Herstellungsprozesse – Einsatzstoffe etc.:

Produkte je Branche: Herstellungsprozesse - Einsatzstoffe - etc. (1)									
Branche	Produkte	Einsatzstoff/ Rohstoff- quelle	Abfall/ Neben- produkte/ Fertigungs- stätten o.ä.	Prozessinhalt	Produktvielfalt	Prozesskette: Technologie/Abläufe			
						Technologie und Abläufe: bekannt/ rekonstruierbar	wenige Varianten in Technologie/ Abläufen	Einzelaktivitäten bekannt/ rekonstruierbar	Einzelaktivitäten quantifizierbar
Legende: + = Aussagepotential hoch									
Energie									
Holzkohle	Holzkohlestücke	Bäume	Meilerplätze	Holzgewinnung und Meilerbetrieb	klein	+	+	+	+
Kohle	Kohlestücke	Gestein	Abraum	mechanischer Abbau von Kohlevorkommen	klein	nicht relevant			
Brennholz	Holzscheite/ Äste/Reisig	Äste/Bäume		Fällen und Zerkleinern von Bäumen und Sträuchern	groß	+	-	+	+
Metalle									
Verhüttung	Erz Stücke	Gestein	Gangart, Gruben	Abbau von Gestein, Zerkleinern	klein	+	+	+	+
	Luppe (bei Eisen) Klumpen	Erz, HK	Schlacke, Ofenreste	Verhütten in Öfen	klein	+	+	+	+
	Barren	Luppe	Schlacke, Schmiedeplatz	Ausschmieden von Luppen	klein	+	+	+	+
Verarbeitung	Werkstücke (Halbzeuge - Fertigteile)	Barren	Schlacke, Schmiedeplatz, Gußformen, Bearbeitungs- geräte	thermisches und mechanische Formen	groß	+	-	+	+
Hausbau (Baustoffe)									
Bauholz	Balken, Bretter, Leisten etc.	Bäume		Fällen und Aufarbeiten von Bäumen	groß		-		
Ziegel	lateres - tubuli - Mauerziegel u.a.	Lehm, Brennstoff, Wasser, Zusatzstoffe	Fehlbrände, Gewinnungs-/ Fertigungs- anlagen	Rohstoffgewinnung, Formen und Brennen von keramischen Bauteilen	groß	+	+	+	+
Wandmaterial (Fachwerkbauten)	Lehm, Äste, Reisig, Farbe	Lehm, Bäume etc.		Abbau, Aufbereitung und Zurichten der Bauteile/Materialien	groß		-		
Steine/Platten	Steine für Bauten, Platten für verschiedene Verwendungen	gebrochene Steinblöcke	Fehlstücke, Steinbrüche, Steinmetz- Werkstätten	Brechen und mechanisches Aufarbeiten von Fels	groß		-		
Dachbedeckung									
organisch	Stroh, Schilf etc	Stroh, etc.		Ernten und Aufbereiten von Pflanzen etc.	groß		-		
Schiefer	Schindeln, Platten	Schieferblöcke	Abfall, Steinbrüche	Abbau, Aufbereitung und Zurichten der Bauteile/Materialien	?		-		
Dachziegel	tegulae - imbrices -	Lehm, Brennstoff, Wasser, Zusatzstoffe	Fehlbrände, Gewinnungs-/ Fertigungs- anlagen	Rohstoffgewinnung, Formen und Brennen von keramischen Bauteilen	klein	+	+	+	+
Transport (Dienstleistung)									
manuell	Transportarbeit	Mitarbeiter	-	Gütertransport	klein	+	+	+	+
Lasttiere	Transportarbeit	versch. Lasttiere	-	Gütertransport	klein	+	+	+	+
Karren/Wagen manuell	Transportarbeit	Mitarbeiter	-	Gütertransport	klein	+	+	+	+
Karren/Wagen Zugtiere	Transportarbeit	Dienstleistung	-	Gütertransport	klein	+	+	+	+

Produkte je Branche: Herstellprozesse - Einsatzstoffe - etc. (2)									
Branche	Produkte	Einsatzstoff/ Rohstoff- quelle	Abfall/ Neben- produkte/ Fertigungs- stätten o.ä.	Prozessinhalt	Produktvielfalt	Prozesskette: Technologie/Abläufe			
						Technologie und Abläufe: bekannt/ rekonstruierbar	wenige Varianten in Technologie/ Abläufen	Einzelaktivitäten bekannt/ rekonstruierbar	Einzelaktivitäten quantifizierbar
Legende: + = Aussagepotential hoch									
Schiffbau (Baustoffe)									
Holz/-bauteile	Bauteile Bretter, Hölzer	Bäume	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Fällen und Aufarbeiten von Bäumen	groß		-		
Seile	geflochtene Seile	Pflanzen	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Ernten und Aufbereiten von Pflanzen etc.	groß		-		
Segel	Textilbahnen	Pflanzen	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Ernten und Aufbereiten von Pflanzen etc.	groß		-		
Abdichtmittel	aufgearbeitete Harze etc.	Pflanzen	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Ernten und Aufbereiten von Pflanzen etc.	groß		-		
Beschläge	Metallteile etc.	Barren, Halbzeuge	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Herstellen von Werkstücken	groß		-		
Transportgeräte/-wagen (Bauteile)									
Holz/-bauteile	Bauteile Bretter, Hölzer	Bäume	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Fällen und Aufarbeiten von Bäumen	groß		-		
Beschläge	Metallteile etc.	Barren, Halbzeuge	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Herstellen von Werkstücken	groß		-		
Seile/Riemen	geflochtene Seile, Riemen	Pflanzen, Tierhäute	Werkstätten, Abfall, Rohmaterial	Ernten und Aufbereiten von Pflanzen etc.	groß		-		
Straßenbau (Baustoffe)									
Schotter	Schüttware	Gestein	Steinbrüche, Straßen	Abbau von Gestein, Zerkleinern	klein		-		
Steinplatten	Pflaster	gebrochene Steinblöcke	Steinbrüche, Werkstätten, Abfall	Brechen und mechanisches Aufarbeiten von Fels	groß		+		
Formsteine	Werkstücke	gebrochene Steinblöcke	Steinbrüche, Werkstätten, Abfall	Brechen und mechanisches Aufarbeiten von Fels	groß		-		
Stein									
Mühlsteine	Werkstücke	gebrochene Steinblöcke	Werkstätten, Abfall	Brechen und mechanisches Aufarbeiten von Fels	klein		+		
Sarkophage	Werkstücke	gebrochene Steinblöcke	Werkstätten, Abfall	Brechen und mechanisches Aufarbeiten von Fels	groß		-		
Dekoration	Werkstücke	gebrochene Steinblöcke	Werkstätten, Abfall	Brechen und mechanisches Aufarbeiten von Fels	groß		-		
Kleidung									
Wolle	Fadenware	Wolle	Werkstätten, Abfall	Tiere scheren, Wolle aufarbeiten	groß		+		
Leinen	Tuche	Fasern, Garne	Werkstätten, Abfall	Ernten und Aufbereiten von Pflanzen etc.	groß		+		
Seide	Fadenware	Fasern, Garne	Werkstätten, Abfall	Ernten und Aufbereiten von Pflanzen etc.	klein		+		
Leder	Felle/ Fertigprodukte	Werkzeuge/ Anlagen	Werkstätten, Abfall	Häutegewinnung, - aufarbeitung	klein		+		
Beschläge/Verzierung	Metallteile etc.	Barren, Halbzeuge	Werkstätten, Abfall	Herstellen von Werkstücken	groß		-		
Kleidungsstücke	Tücher, Kleider	Halbzeuge, Hilfsmittel	Werkstätten, Abfall	Weiterverarbeiten von Tüchern, Fellen etc.	groß		-		
Schuhe	Werkstücke	Häute etc.	Werkstätten, Abfall	Weiterverarbeiten von Leder, Holz etc.	groß		-		

Produkte je Branche: Herstellprozesse - Einsatzstoffe - etc. (3)									
Branche	Produkte	Einsatzstoff/ Rohstoff- quelle	Abfall/ Neben- produkte/ Fertigungs- stätten o.ä.	Prozessinhalt	Produktvielfalt	Prozesskette: Technologie/Abläufe			
						Technologie und Abläufe: bekannt/ rekonstruierbar	wenige Varianten in Technologie/ Abläufen	Einzelaktivitäten bekannt/ rekonstruierbar	Einzelaktivitäten quantifizierbar
						Legende: += Aussagepotential hoch			
Militärbekleidung – Waffen									
Kleidung	typische Kleidungsstücke	Häute, Tücher, Beschläge, Garne, etc.	Werkstätten, Abfall	Weiterverarbeiten von Tüchern, Fellen etc.	groß		-		
Waffen	Stich-/Hieb- und andere handgeführte Waffen	Barren, Halbzeuge	Werkstätten, Abfall	Herstellen von Waffen	klein		-		
Nahrungsmittel									
Erzeugung/Gewinnung Getreide, Gemüse, Obst, Fischerei, Tierzucht				Erzeugung von Nahrungsmittel	groß		-		
Weiterverarbeitung/ Konservierung Fleisch, Brot/Backwaren, Öle/Fette, Fischprodukte, Wein, Bier				Weiterverarbeitung von Nahrungsmitteln	groß		-		
Salz									
Meersalz			Trocknungs- anlagen	Trocknung	klein	+	+	+	
Bergmännisches Salz			Bergwerke, Abbaustätten	Abbau	klein	+		+	
Salinensalz			Trocknungsanla- gen	Trocknung	klein	+			
Keramik									
Amphoren, Essgeschirr, Kochgeschirr, Voratsgefäße, Transportgefäße, Schmuck	Gefäße		Werkstätten, Abfall	Formen und Brennen	groß		-		
Glas									
Rohglas	Halbzeuge	Quarz	Schmelzöfen, Abfälle	Schmelzen			-		
Zierrgläser	Werkstücke	Halbzeuge	Schmelzöfen, Werkstätten, Abfälle	Schmelzen und Formen	groß		-		
Schmuck	Werkstücke	Halbzeuge	Schmelzöfen, Werkstätten, Abfälle	Schmelzen und Formen	groß		-		
Scheibenglas	Werkstücke	Halbzeuge	Schmelzöfen, Werkstätten, Abfälle	Schmelzen und Formen	groß		-		
Gefäße	Werkstücke	Halbzeuge	Schmelzöfen, Werkstätten, Abfälle	Schmelzen und Formen	groß		-		
sonstige Handwerke									
Möbelbauer	Werkstücke	Halbzeuge, Bauteile	Werkstätten, Abfälle	Bearbeiten, Montieren	groß		-		
Drechsler	Werkstücke	Halbzeuge	Werkstätten, Abfälle	Formen	groß		-		
weitere Holzverarbeitung	Werkstücke	Halbzeuge, Bauteile	Werkstätten, Abfälle	Bearbeiten, Montieren	groß		-		
weitere Metallverarbeitung	Werkstücke	Halbzeuge, Bauteile	Werkstätten, Abfälle	Bearbeiten, Montieren	groß		-		
Hornverarbeitung	Werkstücke	Halbzeuge	Werkstätten, Abfälle	Formen	groß		-		

Tabelle 17 Bewertung der Branchen und Produkte

13.2 Informationen/Quellen zu den Aktivitäten

Nachfolgend werden hier die Quellen zu Kapitel 7.6 und die daraus hergeleiteten Inhalte je Aktivität dargestellt. Dabei wird hervorgehoben, welcher Art die jeweilige Quelle zugeordnet werden kann:

- aB* archäologischer Bericht (z. B. Grabungsberichte)
- aA* antike Angabe (Angaben aus antiken Quellen)
- nH* neuzeitliches Handbuch (oder neuzeitlicher Situationsbericht)
- gB* geschichtlicher Bericht
- eA* experimentelle Archäologie
- AS* Annahme/Setzung (z. T. ohne Quellenangabe oder einen spezifischen historischen Bezug)
- Z* Zitat (mit Kategorie der Quelle, z. B. *nH*)

Diese Klassifizierung hat zum Ziel, Quellen hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit für die quantitativen Betrachtungen zu bewerten: Annahmen und Setzungen sowie Zitaten ohne Quellen bzw. Plausibilitätsbetrachtungen wird – insbesondere bei Informationen zu Technologie bzw. technischen Kennzahlen – dabei weniger Aussagekraft zuzubilligen sein als geschichtlichen Berichten und insbesondere Angaben aus Handbüchern und Experimenten.

13.2.1 Lehm abbauen

Quellen zu Kap. 7.6.1

„Umgangssprachlich werden als Tone und/oder Lehme in den meisten Fällen alle sehr feinkörnigen, plastischen Rohstoffe bezeichnet, unabhängig von Entstehung, Korngrößenzusammensetzung, Mineralbestand und Chemismus.“ „Tone und Lehme sind Produkte der Verwitterung der Gesteine. Die mechanische Verwitterung führt zur Bildung von Tonmineralen. Dabei ist besonders die chemische Verwitterung der mit über 60% am Aufbau der Erdkruste beteiligten Feldspate von herausragender Bedeutung. Die Verwitterung, deren Intensität von Klima, Vegetation und Relief abhängt, führt über Bodenbildungen zu einer Verwitterungskruste, wie sie – wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung – überall auf der Welt anzutreffen ist. Diese primären Verwitterungsbildungen sind bereits Vorkommen toniger Rohstoffe.“²⁹⁰ Das Rohmaterial für die Ziegelproduktion steht demzufolge vielerorts zum Abbau zur Verfügung. Neben dem Abbau fällt vor der Verwendung als Werkstoff vielfach eine notwendige Aufarbeitung in Form von

²⁹⁰ Bender 1982, 73.

„Bewittern“ an. Diese Behandlung nutzt klimabedingte Effekte, wie Frost oder große Hitze aus und ist somit jahreszeitlich festgelegt; sie muss rechtzeitig vor Beginn einer Ziegelsaison (Frühjahr bis Herbst) abgeschlossen sein. Das spezifische Gewicht von Lehm beträgt 2 kg/l.²⁹¹

1. Zeitraum für das Lehmabbauen Quellenkatalog

- Duhamel du Monceau u. a. 1765 *nH*, 145 „Man gräbt des Winters über den Thon.“
- Schönauer 1815 *nH*, 17 „Gewöhnlich geschieht das Ausschlagen im Herbst, eigentlich ist es desto besser, je früher man damit beginnt, denn so vermag erst die hagere Lage des angehenden Frühjahrs, nachmals des Sommers große Hitze, endlich die Winde und Regen des Herbstes, so, wie Frost und Schnee des Winters dem Ziegelthon allen Einfluß fühlen zu lassen.“
- Dümmler 1911 *nH*, 46 „... falls der Ton vorher noch gelagert werden muß, um zu wintern, ...“
- Matz 1930 *nH*, 45 „Eines der einfachsten Verfahren ist das Auswintern.“
- McWhirr – Viner 1978 *Z (gB)*, 361 „the traditional way of tempering the clay through the winter“
- Müller 1979a *AS*, 22 „Der durch Winterlagerung stärker zu Krümeln zerfallene ... Lehm.“
- Ebert – Vogtmeier 1980 *gB*, 14 „Die Gewinnung des Tons wurde meist im Winter vorgenommen, um ihn durch die Lagerung in freier Luft und durch den Frost zu verbessern.“
- Goll 1984 *gB*, 39 „Im ersten Arbeitsgang wird der frisch gestochene Lehm zerkleinert ... Im zweiten Arbeitsgang ... einen Winter lang liegen gelassen.“
- 43 „Der gesamte Zeitaufwand vom Beginn der Produktion bis zum fertigen Ziegel dauert 1 ½ Jahre. Der Lehm kann nur vom Frühjahr bis Herbst bei frostfreiem Boden gestochen werden.“
- McWhirr 1984 *gB*, 55 „As in recent practice the clay was dug in the autumn and allowed to weather during the winter. Many descriptions of this process survive from the past two centuries ...“

²⁹¹ <<http://www.mollet.de/info/schuettgutdichte.html>> (14.02.2017).

- DeLaine 1992 *AS*, 182 „Brick-making in Italy has been traditionally a seasonal occupation. The clay is dug in the late summer, autumn or winter, and left to weather until spring, the action of frost and rain serving to break down the clay.“
- Le Ny 1992 *AS*, 88 „L'extraction se fait généralement de l'automne jusqu'au début de l'hiver (souvent d'octobre à décembre).“
- Braukmüller 2000 *gB*, 76 „In der Regel baut Johann Klinkebacker mit seinem Sohn Nanne den Ton für das darauffolgende Arbeitsjahr ab, damit dieser überwintern (Frsp. wintern, durchwintern, auswintern, auswittern, ausfrieren) kann.“
- De Niel 2000 *gB*, 14 „In de winter werd de klei gestoken.“
- Bender 2008 *gB*, 124 „Wintern: Lagern unaufbereiteten Tons in dünnen Schichten 0,6 – 1 m hoch über mindestens 1 Frostperiode. Durch das Gefrieren des Wassers, das der Ton enthält oder mit dem er berieselt wurde, entstehen Eiskristalle, welche den Ton auflockern und ihn beim Auftauen krümelig zerfallen lassen. Erlaß Eduard IV. 1477: a) der gesamte Ton soll bis zum 1. November gegraben und aufgeschüttet sein, b) der Ton soll vor dem 1. Februar umgeschichtet und gewendet werden, c) um einen ausreichenden Aufschluss des Tons zu gewährleisten, soll er nicht vor dem Monat März zum Formen der Ziegel verwendet werden“
- 125 „Sommern: in den südlichen Ländern bis in die 1940er Jahre weit verbreitet; aufgeschüttetes Material trocknet aus und durch Regen oder Tau oder künstlich wieder befeuchtet wird. Durch das ständige Quellen und Schwinden erfolgt die Auflockerung und der Aufschluss des Rohmaterials. Das Sommern war oft effektiver als das Wintern, da im Winter der Ton oft monatelang in gefrorenem Zustand lagerte; ein Aufschluss jedoch nur durch die wiederholten Frost-Tauwechsel bewirkt werden konnte.“
- Bukowiecki 2008 *gB*, 85 „Les opérations d'extraction étaient généralement réalisées au début de l'automne afin d'exposer la terre pendant tout l'hiver aux agents atmosphériques.“
- <<http://www.ziegelei-museum.ch/geschichte/ziegeleiareal/Lehmstich>> (01.10.2014) *gB* „Der dichte und schwere Lehm wurde im Herbst und Winter, wenn das Wasser tief stand, abgebaut. Die großen Brocken wurden auf Haufen geschichtet. Danach wurde

der Lehm durchnässt und über den Winter im Freien liegen gelassen. So konnte er sich durch die Frostsprennung selbstständig zersetzen und vermischen.“

Für die Betrachtungen in den NW-Provinzen wurde unterstellt, dass der dort verwendete Lehm einer Bewinterung bedarf und folglich im Herbst (nach Ende der Ziegelsaison abgebaut und über den Winter bewittert wurde). Deshalb werden die dabei notwendigen Aktivitäten auch als Arbeiten außerhalb des direkten Ziegeleibetriebes ausgewiesen. Dies wurde auch bei dem Modell der „Ziegel für Rom“ so gehalten. Auf die Menge benötigten Personals hat dies keinen Einfluss, lediglich auf den Zeitraum im Jahr, in dem die Aktivitäten anfallen – parallel oder nach dem Herstellen der Ziegel.

2. Personalbedarf

Wegen der ablaufbedingten Terminierung dieser Arbeiten im Vorlauf zur eigentlichen Ziegelherstellung ist es möglich, dass hierfür auch andere als die für den Ziegelherstellungsprozess eingesetzte Mitarbeiter tätig waren. Als früheste Werte für den Zeitbedarf je Volumeneinheit stehen für das Lehmbabbauen Daten aus der industrienahen Epoche des 19. Jahrhunderts zur Verfügung. Ca. 5–15 m³/MT werden darin genannt. Exakte, abgegrenzte Beschreibungen der Tätigkeit fehlen i. d. R. jedoch. Andere in der Literatur angegebene Schätzungen ohne Herleitung, Begründung oder Angaben zum Inhalt sind ebenfalls aufgeführt. Auf eine Diskussion dieser Werte wird ebenso verzichtet wie auf ihre Verwendung bei der Ermittlung plausibler Setzwerte.

Quellenkatalog

Schaller 1828 <i>nH</i> , 47	starker Mann: in 12 Mh 2 Cubiktoisen ²⁹² Ton stechen und auf Schubkarre schlagen; bei: 1 cubiktoise = 7,4 m ³ → 14,8 m ³ in 12 h = <u>12 m³/10Mh</u> ²⁹³
Pegoretti 1863 <i>nH</i> , 42	0,9 h/m ³ bei festem Bewuchs und Ton-Kalk = 11 m ³ /10h-Tag („Un lavorante terrajuolo munito di analoghi strumenti impiega per smovere un metro cubo di terreno – 0.90 se è arenoso o ghiajoso“); 41 Abbau von sumpfigem Material: 0,6 h/m ³ d. h. <u>1,7 m³/h</u> („Per escavare un metro cubico di materie paludose o pantanose impiega un lavorante terrajuolo ore 0. 60“)

²⁹² <<http://sizes.com/units/toise.htm>> (17 05 2016): cubiktoise.

²⁹³ Der Wert ist wahrscheinlich eine sehr hohe Einzelleistung für einen Arbeiter in einer gut organisierten Lehmgrube mit leistungsbezogenem Lohn.

Hurst 1865 <i>nH</i> , 376	ausgraben <u>0,76 m³/Mh</u> ²⁹⁴ → 7,6 m ³ /MT; keine Angaben zum Material
Rea 1902 <i>nH</i> , 46	„Dig, throw out, and form Surfaces for Concrete Paving &c. not exceeding 12 inch in Depth: „An excavator ought to be able to dig out 20 yards super common soil not exceeding 12 in thick in a day of 10 hours“ daraus ableitbar: <u>0,5 m³/h</u> bzw. 5 m ³ /10h-Tag
Behringer/Rek 1950 <i>nH</i> , 349	„Erdaushub, mittlerer Hackboden mit Hacke lösen und bis zu 3 m Entfernung beiseite setzen oder auf Schubkarren oder Kipploren zu laden – <u>1 m³ erfordert 2,3 AKh.</u> “ Mutterboden ausheben und bis zu 3 m Entfernung beiseite setzen – 1 m ³ “ erfordert 1,6 AKh.“
DeLaine 1992 <i>Z (nH)</i> , 182	zitiert Hurst's Konstante; siehe dort
DeLaine 1997 <i>Z (nH)</i> , 111	Angaben nach Pegoretti; siehe dort ²⁹⁵
Shirley 2000 <i>AS</i> , 170	Setzung: <u>100% Zuschlag auf die Mh für das Formen</u> für Lehmvorbereiten, Brennen, Reinigen („and double the moulding time to allow for preparing the clay, firing and clearing“)
DeLaine 2001 <i>AS</i> , 262	Setzung: „Quarry 93 m ³ clay 14 Unskilled mdays“; ²⁹⁶ dies ergibt <u>6,7 m³/MT</u>
Warry 2006 <i>Z (AS)</i> , 121	Werte unkommentiert aus DeLaine 2001 übernommen; siehe dort
Keller 2015 <i>AS</i> ,	Die in der Literatur genannten 5 m ³ je MT werden von ihm als relativ hoch angesehen; seine Schätzung liegt bei <u>3 m³ je MT.</u>

Für die Rechnungen werden hier 5 m³ je MT verwendet. Der Wert liegt im unteren Leistungsbereich der Angaben in den neuzeitlichen Handbüchern *nH* und ist angesichts der unbekanntenen spezifischen lokalen Bedingungen als Orientierungswert anzusehen. Ebenso der für die am Abbauort notwendige Lehmaufbereitung als Zuschlag von 100% eingerechnete MT je MT für das Abbauen (siehe nachfolgendes Kapitel).

²⁹⁴ „Exvacating only per cubic yard; Hours of a Labourer or navy: Clay: 1.00“ Umgerechnet zu 0,76 m³/h.

²⁹⁵ Es werden jedoch Werte zum Kalk abbauen und brechen verwendet: 0,53 bis 15 m³/MT.

²⁹⁶ keine Herleitung/Begründung/Inhaltsbeschreibung.

13.2.2 Lehm aufbereiten/Formen vorbereiten

Quellen zu Kap. 7.6.2

Wegen der großen Bandbreite bei den Einzelschritten dieser Aktivität – und der damit verbundenen Problematik bei deren Quantifizierung erfolgt hier lediglich eine Auflistung von Quellen.

Quellenkatalog

Schaller 1828 <i>nH</i> , 47	je Betrieb: 2 <u>Lehmtreter</u> (industrieller Maßstab); „in jedem Falle sind Lehmmacher, Former und Abtrager nöthig.“
Schrader 1997 <i>gB</i> , 62	„Der Ton wird vom Umgänger, Karrenmann oder Aufkarrer zur Sumpfrube gebracht, wo ihn der Kastenknecht oder <u>Sümpfer</u> wässerte. Der fertig gesumpfte Ton wurde auf dem Tretplatz, der Trade von den <u>Erdmachern</u> , Lehmmachern, Tretern mit den bloßen Füßen getreten bis er streichfähig war.“ Arbeitsteilung im frühen 19. Jh.
DeLaine 2001 <i>AS</i> , 262	Das Aufbereiten wird hier nur zusammen mit dem Formen genannt („Prepare clay and form“); beim Lehmabbau erfolgt keine Erwähnung dieser Aktivität. ²⁹⁷
De Niel 2000 <i>gB</i> , 63 13 Bijlage ²⁹⁸	je 1 Former: 1 <u>Aufbereiter</u> und ½ Vorbereiter/Ablader
Keller 2015 <i>eA</i> ,	„Für die an <u>1 MT abgebauten 3 m³ fallen mindestens ½–1 Tag Arbeit für das Aufbereiten</u> an (je nach Qualität des Lehms und der Menge der Zuschlagstoffe)“

Die Quantifizierung erfolgt in Anlehnung an diese Quellen als Zuschläge von + 100 % beim Abbau und + 100 % je Former vor dem Formen.

²⁹⁷ Eine exakte Abgrenzung Aufbereiten – Formen findet nicht statt. Möglicherweise sind die als „unskilled“ bezeichneten Mitarbeiter, von denen die gleiche Anzahl wie die der „skilled“ angegeben werden, die für die Aufarbeitung zuständigen. Demnach könnte je Former 1 Mitarbeiter für die Aufbereitung eingesetzt worden sein (+ 100 %). Definitionen von „skilled“ und „unskilled“ werden jedoch nicht angegeben; ebenso keine Herleitung oder Quellen zu den Daten.

²⁹⁸ siehe Abb. 6.

13.2.3 Ziegel formen

Quellen zu Kap. 7.6.3

Für *tegulae* und *imbrices* liegen aus Experimenten und heutigen, manuell ablaufenden Fertigungsabläufen Leistungswerte vor (gemessen in Zeitbedarf je Stück und als Volumen geformter Lehm je Mannstunde eines Formers). Deren Eindeutigkeit und Einfachheit lässt eine hohe Übereinstimmung mit der Situation in der Antike annehmen. Das Formen von *lateres* – dabei wird die Verwendung von Modeln unterstellt – ist mit der Fertigung von Mauerziegeln vergleichbar. Hier sind Bearbeitungszeiten und Mengen aus neuzeitlichen Manufakturen des 19. und 20. Jahrhunderts bekannt. Bei der Erarbeitung der Schätzwerte war neben der Plausibilität der Einzelwerte auch die der Relation dieser Werte zueinander ein zu beachtender Parameter.

1. Arbeitstechniken beim Formen

Überblick über mögliche Verfahrensweisen und Basis für die gewählten Schätzungen:

Quellenkatalog

- Harley 1974 *gB*, 63–65 manuelle Verfahren für das Formen von Flachziegeln
Entwurf einer Verfahrens-Typologie
- 1) Freihand
 - 2) Formen mit flachen hölzernen Geräten („butter-pad-Methode“) klopfen
 - 3) Schneiden wie Teig („pastry-Methode“) Platte mit Spaten o. ä. zerschneiden
 - 4a) in Model aus Holz werfen, verteilen, abziehen
 - 4b) große flache Ziegel in Form auf Boden und dann Form abziehen

Rook 1979 *eA*, 299–301

Studie zur möglichen Fertigungstechnik

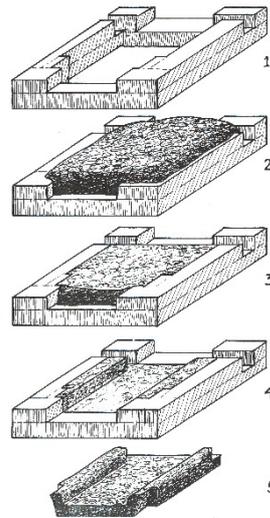


Abbildung 30 Herstellen einer *tegula* mit Drahtschnitt
(Rook 1979)

Arbeitsschritte:

- 1) A frame mould is constructed in scantling of suitable thickness.
- 2) The mould is stood on a flat base, damped and sanded. Clay is ‘batted’ into it to fill the corners.
- 3) Excess clay is removed along the mould, use a wire tensioned in a bow.
- 4) Excess clay is removed across the mould in the same way.
- 5) After smoothing and ‘signing’ the clay is removed, dried and fettled.

DeLaine 1992 *AS* (mit
Quellenbezug *gB*), 183

„The prepared clay then had to be moulded into shape. The basic step must have been to make a flat slab within a wetted wooden frame, which was the shaped round a form to make imbrices and tubuli, or cut to shape the tegulae. Recent parallels suggest that this was done at a bench, sanded to prevent the clay from sticking, with a work shed, and a number of structures which could have been used in this way have been found, notably at Itchingfield and on the Lateran site in Rome. The bricks had then to be carried, still in their frames, to the drying

floor, where the frame or form was removed; alternatively, the simpler bricks, particularly the bessales, could have formed directly onto the drying floor, as still happens in modern Tunisia, thus removing a step the process.“

Warry 2006 *gB*, 7

tegulae wurden aus festem aber noch plastischem Ton hergestellt. Dieser wurde in ein Model geworfen und gegen den Rahmen gedrückt und der Überschuss wurde mit einem Stock oder mit der Hand weggenommen; die Leiste/Flanke wurde entweder im Rahmen oder von Hand hinterher gefertigt; eventuell wurde der Lehm außerhalb der Form vorgeformt.²⁹⁹

9 „the most obvious mould forms:

- A Hand moulded
- B Two-sided mould
- C Three-sided mould
- D Four-sided mould with an open bottom
- E Five-sided upright box with a closed bottom
- F Inverted box mould
- G Mould with retractable or hinged sides“

33 Methode D „The procedure could have worked as follows:

1. The mould was wetted, sprinkled with sand and placed on a palette that has been similarly sanded
2. Cut clay down from moun, rough to shape, fold into ball, throw into mould, and punch into corners
3. Run wire over top of mould and peel of surplus clay
4. Wire out centre of mould using the ends as a template to form outline of the flanges
5. Run hands along the flanges to smooth into finished form
6. Cut upper cutaway
7. Strike the base to smooth and remove surplus clay

²⁹⁹ „McWhirr and Viner suggested, that tegulae were made reasonably firm but still plastic clay. This was thrown into a mould and pressed against the frame with the surplus being removed with a bat or by hand. No detail on the design of the mould was propose with ,the flange being made either in the rame or by hand afterwards.““

8. Mark with signature
9. Spronge tile down
10. Shift tile on its baseboard to drying areas
11. Lift mould vertically off tile.“

Federhofer 2007 gB, 13/14

„Rollen (Verformen), Werfen, Abstreichen, so wird der Arbeitsablauf von Vollziegeln beschrieben (zit. aus: J. Stark/B. Wicht, Die Geschichte der Baustoffe, Berlin 1983, 43 f), eine Technik, die sich von der Antike bis in die Neuzeit erhalten hat. Am römischen Fundmaterial sind bisweilen Reste von Sand erhalten, durch den der aufbereitete Tonbatzen am Arbeitstisch (Streichtisch) gerollt wurde oder mit dem die Form ausgestreut wurde, um das Ankleben zu verhindern. Dabei wird so vorgeformt, dass der Ton beim Einwerfen zuerst den Boden, nicht die Innenseiten des Holz- oder Eisenkastens berührt. Durch den Schwung beim Werfen breitet sich der plastische Ton seitlich aus und füllt die Form. Nach dem Abziehen des überstehenden Rohmaterials mit einem Brett, dem sog. „Streichholz“, ist bei Plattenziegeln (*lateres*) die Formgebung beendet; der Formling wird auf dem Trockenplatz abgelegt und entformt. Zum Herausarbeiten der für tegulae charakteristischen Randleisten auf den Ziegeloberflächen waren zum Formen hölzerne Rahmen mit entsprechenden Aussparungen, nach Art einer Schablone, in Gebrauch (siehe Abb. 31). Der Bereich zwischen der Randleiste war mit einer Holzleiste oder nach der Beobachtung von Rook (1979, 298 ff) mit einem Draht aus der randvoll gefüllten Form herauszunehmen. Es sind verschiedene Arbeitstechniken zu erkennen, die je nach Ausbildung der sehr verschiedenen Leistenformen Anwendung fanden oder die der Ziegler nach seinen individuellen Erfahrungen bevorzugte.“

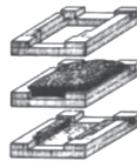
Außerdem werden Hampe – Winter 1965, 28 zur Herstellung von Wölbziegeln zitiert: „Auf dem Werkstisch liegt ein großer Holzrahmen auf einer trockenen Tonmehlstreue, um nicht am Tisch zu kleben. Diesen Rahmen füllt der Ziegler mit einem Tonbrei und streicht ihn mit tiefend nassen Händen glatt. Dann hebt der Streicher den Rahmen, in dem der Ton haftet, an und legt ihn auf ein Formholz. Dieses Holz läuft auf jeder Seite konisch zu;

auf der stärkeren Seite hat es einen Griff. Im hölzernen Ziegelrahmen ist eine Schleife aus Bindfaden eingeknotet. Kaum liegt der Rahmen auf dem Formholz, zieht die Frau blitzschnell an den Innenseiten des Rahmens entlang und trennt den Ausstrich vom Rahmen. Der Ausstrich sinkt auf das Formholz herab. Der Rahmen wird vom Ziegler zurückgenommen. Aus arbeitstechnischen Gründen werden bei der Herstellung von Wölbziegeln die Arbeitsschritte – Einstreichen in den trapezförmigen Rahmen und das Ablegen auf dem Formholz (Entformen) von zwei Personen ausgeführt.“

later



tegula



imbrex

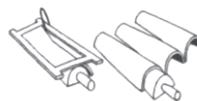


Abbildung 31 Formhölzer zur Herstellung der verschiedenen Ziegelarten (Federhofer 2007)

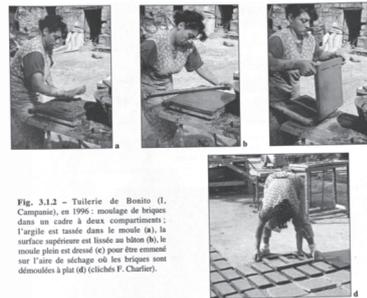
Charlier 2011 *MS*, 139

Fig. 3.1.2 – Taille de Benito (I. Campani), en 1996 : moulage de briques dans un cadre à deux compartiments ; l'argile est tassée dans le moule (a), la surface supérieure est lissée au bâton (b), le moule plein est dressé (c) pour être emmené sur l'aire de séchage où les briques sont démontées à plat (d) (clichés F. Charlier).

Abbildung 32 Beispiel für die Herstellung größerer Platten (Charlier 2011)

146



Abbildung 33 Beispiel für Flach- und Wölbziegelformen im 19. Jh. (Charlier 2011)

Kienzle 2011 *eA*, 226/227

„Der rohe Ton wurde mit Sand und Ziegelsplit aufbereitet, mit Kraft in den Rahmen geschlagen und dann in die Ecken gedrückt. Mit einer Holzleiste ließ sich das Material glattstreichen, überschüssiger Ton wurde abgenommen. Die Oberflächen des Holzrahmens dienten hierbei als Auflage für die Holzleiste und definierten somit eine gleichmäßige Schichtdicke und die Ausformung der seitlichen Aufkantungen. Der Rohling wurde nun mit nassen Händen überformt und glattgestrichen. Anschließend wurde die ... Schnurschleife angespannt und einmal um den Rahmen gezogen, sodass der Tonrohling vom Holzrahmen getrennt und der Rahmen nach oben abgenommen werden konnte. Der Rohling wurde noch einmal mit nassen Händen glattgestrichen, um Verformungen, die aus dem Abheben des Holzrahmens entstanden waren, zu korrigieren. Der Ziegler schnitt dann noch mit dem Messer und gespanntem Draht die Ausnehmungen an den Ecken heraus.“



Abbildung 34 Ablauf beim Formen der Dachziegel für Gebäude des archäologischen Parks in Xanten (Kienzle 2011)

2. Personalbedarf

tegulae

Quellenkatalog

Shirley 2001 *AS*,
108

„At, say, 10 tegulae an hour ... If we allow twice this rate for imbrices, and double the resultant moulding time to allow for preparing the clay, firing and clearing, ...“;
grobe Setzung ohne Nennung von Bezügen oder Plausibilitäten ergibt 6 min/Stück und 0,4 m³ Lehm je MT

Pinter 2011 *eA* o. S.

400 *tegulae* als Tagesleistung der 3 Mitarbeiter (2 Former + 1 Zuarbeiter); daraus lassen sich 2,4 Mmin/Stück für das Formen errechnen; bei 5 l je Ziegel würden so je Former 125 l Lehm je Mh verarbeitet

In dieser Arbeit verwendet: bei einem Volumen von 5 l: Formzeit/Stück: 3 Mmin – 20 Stück/Mh – 1,0 m³ Lehm/MT in Anlehnung an die Angaben von Pinter

imbrices

Quellenkatalog

- Hampe – Winter 1965 *gB*, 49/50 „Ein Zieglerpaar könne, so sagten die Arbeiter, pro Tag etwa 800 bis 1.000 solcher Dachziegel (i. e. gewölbte Dachziegel) herstellen.“; bei 10 Stunden Arbeitszeit je Tag ergibt sich daraus eine Stückzeit von 1,5 Mmin.
- Shirley 2001 *AS*, 108 20 *imbrices*/h; daraus ergeben sich 3 Mmin/Stück und bei (in der Quelle nicht angegebenen) 1,5 l/Stück würden dann bei 10h/MT 0,3 m³ Lehm je MT verarbeitet.

In dieser Arbeit verwendet: bei einem Volumen von 1,5 l: Formzeit/Stück: 1,5 Mmin → 40 Stück/Mh → 0,6 m³ Lehm/MT in Anlehnung an die Angaben von Hampe – Winter

lateres

Die kleinen *bessales* haben annähernd das gleiche Volumen (und die gleiche anzunehmende Formtechnik) wie die Mauerziegel im 19. Jh., für die mehrere Quellen zur Formzeit/Stück vorliegen bzw. zur Menge verarbeiteten Lehms je Mh (aus der sich leicht die Zeit/Stück errechnen lässt).

Quellenkatalog

- Schönauer 1815 *nH*, 54 „ein fertiger Ziegelstreicher macht in 12 h 1.200 Mauersteine“; daraus ergeben sich 0,6 Mmin/Stück
- Dobson 1850 *nH*, 107 „he repeats the process of moulding at the rate of from 1,300 to 1,500 per day“; daraus ergeben sich ca. 0,4 Mmin/Stück
- Pegoretta 1863 *nH*, 299 1 Mann (unterstützt von 1 Mitarbeiter) produziert (aufbereiten und formen) in 10 Stunden: 1.000 Ziegel 20 × 20 cm oder 167 Stück 50 × 50 cm („Un uomo capace assistito da un manuale, si ritiene che impieghi complessivamente una giornata di 10 ore per impastare ed espurgare l’ar gilla, e formare e disporre nei modi d’arte 1000 bastardotti, e quadri piccoli del lato di metri 0,20; 167 quadri simili 0, 50“); somit formt ein Ziegler 1.000 × 0,2 m × 0,2 m = ca. 40 m² bzw. 167 × 0,2 m × 0,5 m = 40 m² Ziegelfläche.
- Young 1968 *nH*, 320 Ende 19. Anfang 20. Jh: „In a normal working day, 6 a. m. to 8 p. m. ... the output went up to 1,000 bricks a

	day“ (ohne Lehmaufbereitung); daraus abzuleiten: bei 14 h bis 1.000 <u>Mauerziegel bis 0,84 Mmin/Stück</u>
Peacock 1982 <i>nH</i> , 47	19. Jh. Ashburnham: 500–600 <u>Mauerziegel/MT</u> , Broadmine: 700–800 Mauerziegel/MT; daraus abzuleiten: bei 10h/MT Ashburnham: ca. 1 Mmin/Stück – ca. 120 l Lehm/Mh Broadmine: <u>ca. 0,8 Mmin/Stück</u> – ca. 160 l Lehm/Mh
DeLaine 1997 <i>Z (nH)</i> , 116	zit. Pegoretti (siehe dort), Peacock (siehe dort) als Quellen für die verwendeten Daten: „The total volume of clay prepared and worked per day is fairly consistend at 1.25–1.38 m ³ .“ ³⁰⁰

In dieser Arbeit verwendet: bei einem Volumen von 2 l: Formzeit/Stück: 1 Mmin → 60 Stück/Mh → 1,2 m³ Lehm/MT. Dies ergibt bei 10 Mh/MT 120 l/Mh für das Formen; der Wert liegt im unteren Bereich der Angaben für die Mauerziegel im 19. Jh. Für andere *lateres*-Formate werden die spezifischen Zeiten nach dem von Pegoretti verwendeten Prinzip errechnet: nach seinen Angaben ist die Menge geformten Lehms je Mh unabhängig vom Ziegelformat konstant.³⁰¹

Ergänzung:

CIL 11381 11383 11385 TEGULAE 1804 **aA**

CIL 11381 (= Eph. IV n. 555)

KAL IVLIS

SEVERUS CCXX

FORTIS CCXX

CANDIDVS CCXX

FELICIO CCXX

IN VNO DCCLXXX,

³⁰⁰ Es wird bei der Berechnung des Gesamtvolumens pro Tag eine Dicke der Ziegel von 3,25 cm verwendet, die nicht explizit genannt wird, die sich jedoch wie folgt nachrechnen lässt: 1.000 Ziegel 20 × 20 cm haben eine Oberfläche von 40 m²; bei 1,3 m³ Volumen ergeben sich 1,3/40 = 3,25 cm Dicke; im Manuale von Pegoretti 1863 wird dagegen auf 286 für die Ziegel im Format 20 × 20 cm 5 cm angegeben. Wegen dieses Widerspruchs ist eine Weiterverwendung der Daten nicht möglich. Auch die Anmerkungen auf 116 : „Pegoretti’s figures can be used to throw light on several graffiti from the roman world that suggest that the daily output was about 220 bricks per day, a figure widely accepted.“ „If the brick moulder had an assistant, then the figure of 220 bricks per day is reasonably consistent with Pegoretti’s figure of 167 large bricks per day.“ sind nicht aussagefähig, da auch dort keine Abmessungen sondern nur Stückzahlen genannt werden.

³⁰¹ Pegoretti 1863, 299 Lediglich bei *tegulae* und *imbrices*, die beide zusätzliche Arbeitsschritte gegenüber den *lateres* erfordern, wird in der vorliegenden Arbeit davon abgewichen.

CIL 11383 (= Eph. IV n. 554)
 V KAL AVG
 SEVERVS ET
 FORTUNAT //
 LATER CCCCXXXX
 CIL 11385 (= Eph. II n. 928)
 XIII K OCTOBR
 FORTIS CCXXII
 CANDIDUS CCXXV
 IVSTINIVS CXXXVII
 ARTEMAS CIXXXXVIII
 MIN XXI

Die Graffiti nennen Namen und Zahlen, die in Ziegel eingeritzt sind. Diese Zahlen als Tagesleistung anzusehen, ist forschungsgeschichtliche Tradition (siehe auch Frank 1940, 209, McWhirr 1984, 15/6, DeLaine 1997, 116, Warry 2006, 119). Die Quellen liefern jedoch keinerlei spezifische Angaben zum Inhalt der Zahlen. Eine Interpretation als Tagesleistung eines Zieglers (Formers – mit oder ohne Helfer beim Formen? welcher Art Ziegel? in welchem Zeitraum? etc.) erscheint deshalb spekulativ und kann demzufolge hier nicht verwendet werden.

13.2.4 Ziegel trocknen

Quellen zu Kap. 7.6.4

Der Wassergehalt des Lehms wird zum Erreichen einer optimalen Bearbeitbarkeit in den Formen auf ca. 30% eingestellt.³⁰² Vor dem Einsetzen in den Brennofen muss dieser Anteil stark reduziert werden, um die Rohlinge formstabil, und damit stapelbar zu machen. Angestrebt wird ein Feuchtigkeitsgehalt von < 10%.³⁰³ Außerdem senkt der Einsatz möglichst trockener Ziegel den Bedarf an Brennmaterial im Ofen, da vor dem eigentlichen Brennen zunächst das Wasser aus den Rohlingen ausgetrieben werden muss. Ein möglichst gleichförmiges, langsames Trocknen verringert außerdem mögliche Spannungen in den Rohlingen und dadurch entstehende Verformungen und Risse.

³⁰² siehe dazu auch: Kröll – Kast 1989, 538.

³⁰³ a. a. O. 551.

1. Dauer des Trocknungsprozesses

Quellenkatalog

Knight – Knight 1955 <i>nH</i> , 4	Mauersteine: alle 10 Tage drehen; <u>nach 3–6 Wochen trocken</u>
Young 1968 <i>nH</i> , 320	Fertigung Ende 19. Anfang 20. Jh.: <u>Trocknen: mehrere Wochen</u> („When dry, a process taking several weeks ...“)
Le Ny 1992 <i>Z (gB)</i> , 278	mehrere Quellen zur Trocknung; verschiedene Angaben zur Dauer: 3–15 Tage; <u>21 Tage</u>
DeLaine 1997 <i>AS</i> , 118	Setzung: <u>28 Tage</u> „an average figure of, say 28.“
König 1998 <i>nH</i> , 27	„Die günstigsten Trockenzeiten lagen bei dieser Art der Freilufttrocknung und stabiler Wetterlage bei <u>mindestens 14 Tagen</u> .“
Braukmüller 2000 <i>gB</i> , 81	„nach 2 Tagen sind die Rohlinge so trocken, dass sie aufgekantet werden können; <u>nach 4 Wochen</u> sind sie luftgetrocknet.“
Bender 2008 <i>gB</i> , 409	Freilufttrockner ca. 1800 – 1920 <u>5–20 Tage</u> .
Bönisch 2015/6 <i>eA</i>	„ <u>mindestens 4 Wochen</u> trocknen“

Die Wertstellung von 28 Tagen ist aus den mehrheitlich für die relevante Region genannten Angaben abgeleitet.

2. Personalbedarf

Je nach Betriebsgröße, Produktart, Witterungsbedingungen, eingesetzter Trocknungsanlagen (mit/ohne Hallen) etc. fallen unterschiedliche Arbeiten an.

Quellenkatalog

Ebert – Vogtmeier 1980 <i>gB</i> , 18	„Waren die flachliegenden Ziegelsteine nach einigen Tagen angetrocknet, wurden sie hochkant gestellt und, wenn sie genügend ausgetrocknet waren, an den Seiten des Platzes oder im Trockenschuppen vom <u>„Hagensetzer“</u> zur vollständigen Trocknung hochkant quer aufeinander gesetzt, so daß die Luft von allen Seiten, wie durch eine Hecke (= Hagen), hindurch ziehen konnte.“
De Niel 2000 <i>gB</i> , 63, 13. Bijlage	je Former <u>2 „Gammer“</u> (Aufsteller) ³⁰⁴

³⁰⁴ siehe Abb. 6.

Warry 2006 *AS*, 121

basierend auf Daten aus DeLaine 2001 zu Zeitbedarfen für das Herstellen von Ziegeln : „As the labour content in forming bricks is minimal one might expect that most of the labour attributed to this category ... was spent in clay preparation and laying out the bricks to dry. It is therefore appropriate to add one skilled man-day to that value considering the production of *tegulae*.“

Die Bemessung des benötigten Personals erfolgt in Anlehnung an diese Quellen als Schätzung mit einem Zuschlag von 100 % auf den Personalbedarf für das Formen: 1 Mitarbeiter ist damit für das Handling der Produktion eines Formers im Bereich Trocknung zuständig.

3. Hallen in Befunden

Inwieweit in Befunden nachgewiesene Hallen von Ziegeleien ausschließlich für das Trocknen der Rohlinge oder auch für die Unterbringung der Former verwendet wurden, ist nicht exakt nachzuweisen. Trotzdem sollen hier für die Beschreibung von Betriebsmodellen vorhandene Hallen analysiert werden. Damit sind für den Einzelfall Rückschlüsse auf das jeweils eingesetzte Trocknungsverfahren möglich. Ausgehend von der Befundsituation in Dormagen, wo die Größe der Halle nahezu exakt die Fläche einer Charge bei horizontalem Auslegen der zu trocknenden Rohlinge (ca. 400 m²) entspricht, wurden weitere Fundberichte mit Nachweisen zu Hallen auf dem Ziegeleigelände ausgewertet:³⁰⁵

³⁰⁵ Zusammenstellung Le Ny 1992, 309 Fig 131 mit den Fundorten Xanten, Rheinzabern, Liffol le Grand, Jockrim, Offemont, Amay, Mittelbronn, Couladere und Charlier 2011, 279 und 301 Fig. 4.2.109 und Fig. 4.2.135 Moisse, Saint-Julien-de Peyrolas, Jockgrim, Dambach-la-Ville, Hombourg-Budange période 3, Hombourg-Budange période 1 et 2, Saint-Martin-Lapuëpie, Hermalle sous Huy, Dambach-la-Ville halle sud, Offemont, Stettfeld, Capellen halle ouest, Hombourg-Budange période 3, Strasbourg, Panges, Stettfeld four 206, Capellen, Dormagen, Dambach-la-Ville halle nord-ouest, Capellen halle nord-est, Hermalle-sous-Huy halle est, Hermalle-sous-Huy halle ouest, Neupotz, Hunzenschwil, Rheinzabern Halle 5.

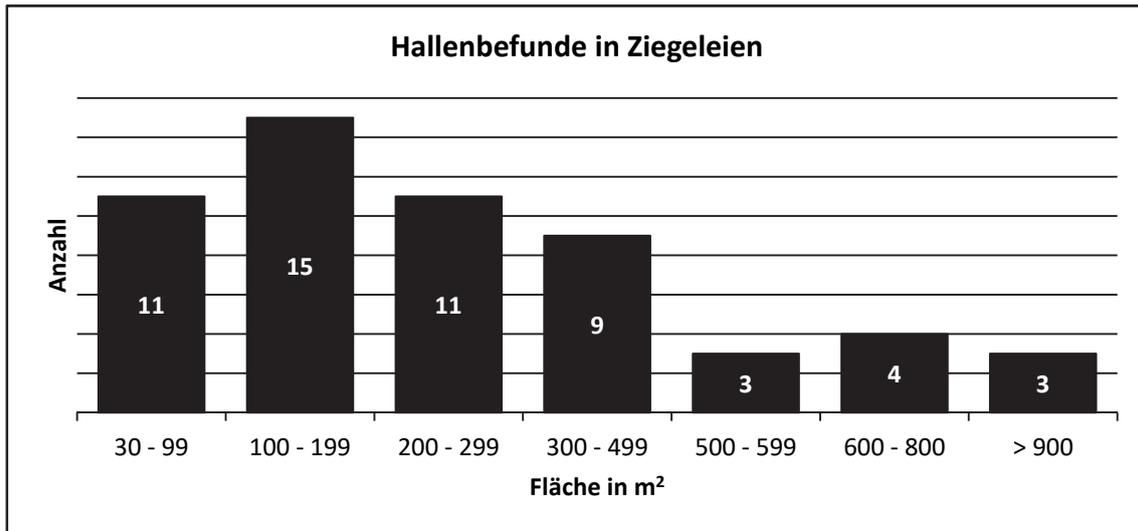


Abbildung 35 Hallen in Gallien und Germanien

Hier ist zu beobachten, dass solch große – bzw. größere – Hallen in den Befunden nur in 1/3 der betrachteten Ziegeleien vorliegen. Der größere Teil kommt demnach mit z. T. erheblich kleineren Hallen aus. Demnach liegt die Vermutung nahe, dass diese Hallen wohl i. d. R. eher zur Unterbringung der Former als primär zur Trocknung der Rohlinge verwendet wurden. Eine Auswertung von Befunden mit Ofenabmessungen und Hallengrößen ergab 9 Wertepaare:³⁰⁶ Das Verhältnis Hallen- zu Ofenfläche betrug dabei 6 – 50; mit Schwerpunkt zwischen 20 und 30 (Dormagen 400 / 13 = 31). Rückschlüsse auf generelle fixe Relationen Hallengröße zu Ofenabmessung sind daraus nicht abzuleiten. Vermutlich sind die spezifischen lokalen Gegebenheiten prägender als ein übergreifendes Regemaß.

³⁰⁶ Charlier 2011, 301 aus Fig. 4.2.135.

13.2.5 Brennen: Ofen füllen – Ziegel brennen – Ofen abkühlen – Ofen leeren

Quellen zu Kap. 7.6.5

1. Ofen füllen

1.1 Füllgrad

Die zu brennenden Rohlingen werden per Hand senkrecht aufeinander, versetzt stehend in den Ofen eingebracht. Dabei ist darauf zu achten, dass genügend Raum zwischen den Rohlingen verbleibt, sodass einerseits das heiße Rauchgas gut durch den Stapel strömen und andererseits die Oberflächen der Ziegel gleichmäßige Wärmezufuhr erfahren können.³⁰⁷

Quellenkatalog

- | | |
|--------------------------------|---|
| Schönauer 1815 <i>nH</i> , 163 | Bei Mauerziegeln im frühen 19. Jh. von 2 ½ Zoll Dicke: 1 ½ Zoll Luft lassen. Daraus berechnet: <u>63 %</u> Füllgrad. |
| DeLaine 1992 <i>AS</i> , 188 | „and allow 40 % of the solid volume of all items except for the tubuli to provide space between the passage of the heat“. Als Füllgrad wird somit <u>71 %</u> gesetzt. ³⁰⁸ |

³⁰⁷ siehe auch Le Ny 1992, 396 „Le chargement du matériel à cuire, à l'intérieur du laboratoire, répond à certaines règles : De la bonne disposition de ce chargement dépend, en effet, une circulation meilleure et plus homogène des flux de chaleur ...“ und

Schrader 1997 126 „Gut gesetzt ist halb geformt“. „Grundsätzlich müssen die Rohlinge so gesetzt werden, dass überall im Brennraum gleiche Strömungsverhältnisse geschaffen werden. So können sie gleichmäßig von der Verbrennungsluft umströmt werden. Desweiteren muss die Eigenstabilität der einzelnen Blätter, wie die in einer Reihe gesetzten Ziegel bezeichnet werden, so groß sein, dass eine leicht seitliche Neigung, etwa durch örtliche Überhitzung verursacht, nicht gleich zum Einsturz des gesamten Blattes führt.“

³⁰⁸ Bei späteren Berechnungen, DeLaine 2001 263 Table 11.B4 Brick-kiln firings, werden dann im Zusammenhang mit der Ermittlung von Werten zu Brennzeiten und Brennmaterialbedarf Füllgrade von bis zu 88 % verwendet. Begründungen hierzu werden nicht angegeben. Anmerkung: Als Basis für die Ermittlung dieses Füllgrades, der in der Tabelle nicht explizit genannt wird, diente die Angabe in DeLaine 1992 188 Table 9: Brick Production *bessales* 54.000 Stück = 59 m³; d. h. 1,1 l je Stück, von denen DeLaine 2001 263 Table 11.B4 52.000 Stück in einem Ofen von 65 m³ als Basis für diese Betrachtungen nutzt. Die zitierten Aufsätze stammen aus verschiedenen Jahren; gleichwohl bleibt das Datenmaterial nahezu unverändert, sodass dieser Vergleich angemessen erscheint. Abweichungen und Veränderungen werden von der Autorin nicht kommentiert.

Warry 2006 *AS*, 120

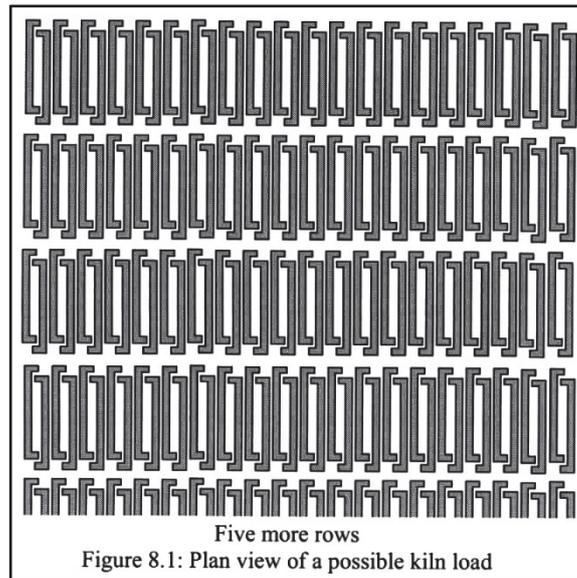


Abbildung 36 Möglichkeit zur Anordnung von tegulae in Brennöfen (Warry 2006)

Durch Ausmessen der Zeichnung lässt sich ein theoretischer Füllgrad von 49% ermitteln; allerdings scheinen die Ziegel Unterseite gegen Unterseite zu liegen und damit nicht ausreichend Raum für die Rauchgase vorhanden zu sein

Immenkamp 2011a *eA*



Abbildung 37 Blick von oben in die Ofenkammer (Immenkamp 2011a)

Beispiel aus der experimentellen Archäologie: Anordnung bei einem Versuch im LWL-Industriemuseum Lage. Die Zwischenräume sind mindestens so groß wie die Ziegeldicken; der Füllgrad somit $\leq 50\%$

Immenkamp 2016/7 *eA* „Im Experiment von Lage mit einem rekonstruierten Ziegelofen der römischen Ziegelei in Dormagen wurden in den Brennraum von 29 m³ 1.870 Ziegel im Format 37 × 37 × 6 cm eingesetzt“ Daraus ergibt sich ein Füllgrad von 53%.

Die gewählte Wertstellung von 50% erscheint demnach als erste Setzung für die Berechnungen sinnvoll.

1.2 Personalbedarf

Zum „Ofen füllen“ sind mindestens zwei Mitarbeiter notwendig: 1 Anreicher sowie 1 Einsetzer.

Quellenkatalog

- Schaller 1828 *nH*, 151 Einsetzer bei Feldbrandofen zum Brennen von Mauerziegeln: „Da ihm nun diese 5000 Steine in fünf Viertelstunden je zwei und zwei zugeworfen werden, so muß er dieselben in der nämlichen Zeit setzen.“ Daraus berechnet: ca. 1 sec je Ziegel
- De Niel 2001 *gB*, 54 „... beim Transport von Rohpfannen ist Vorsicht geboten. Sie können Brüche oder Risse bekommen, neben der Nase und klingen falsch. Sie sind „keine Kohle wert“, weil sie beim Backen platzen oder springen und nicht mehr wasserdicht sind.“³⁰⁹
- DeLaine 2001 *AS*, 262 Tabelle 11.B3 Die Angabe „carry and load kiln: 19 unskilled mdays 10 skilled mdays“ für 52.000 *bessales* kann für Vergleiche nicht herangezogen werden: Inhaltsbeschreibungen und Abgrenzungen von „carry“ und „load“ fehlen und machen so eine exakte Zuordnung der angegebenen Arbeitsmengen zu den Tätigkeiten unmöglich. Außerdem würde ein Ofen für die genannten 52.000 *bessales* mit ca. 1,1 l je Ziegel und 50% Füllgrad ein Ofenvolumen von 114 m³ Brennkammervolumen erfordern. Ein derart großer Ofen ist bei der Recherche zu den Öfen der betrachteten Region und Epoche nicht

³⁰⁹ De Niel zitiert Bal, R. (Nota's meester Bal, gemeentearchiv Boom (keine weiteren Angaben)): „... bij het vervoer van de pannen moet er voorzichtig te werk gegaan worden. Ze kunnen barstjes of scheurtjes krijgen, naast en klinken vals (niet helder). Ze ,zijn kein kolen waard' want bij het bakken zullen ze bars-ten of springen en zijn ze niet meer water-dicht“ Übersetzung des Verfassers.

vorgekommen. Die Vermutung liegt nahe, dass hier Daten aus Feldbrandmeilern für Schachtöfen verwendet worden sein könnten.

Warry 2006 *AS*, 121

greift die Daten von DeLaine 2001 auf, setzt für 52.000 *bessales* einen Ofen von 100 m³ an (68 % Füllgrad), nennt den von DeLaine verwendeten Ofen 10fach so groß wie ein typischer römisch-britischer Ofen. Die Übertragbarkeit der DeLaine'schen Daten wird demzufolge hier angesprochen, jedoch nicht auf eine Verwendbarkeit hin geprüft. Außerdem berechnet er aus diesen Angaben spezifische Werte für die Arbeitsmenge mandays für „carry and load“ je m³ Lehm von 0,55. $19 + 10 = 29$ mdays für 52.000 *bessales* mit 1,3 l je Stück würden jedoch $29 \text{ mdays} / 67,6 \text{ m}^3 = 0,43$ mandays ergeben. Damit ist eine ausreichende Qualität dieser Quelle nicht gegeben.

Für den Anreicher und den Einsetzer kann folgende Schätzung verwendet werden: 4 Ziegel werden je Minute in den Ofen eingebracht. Daraus ergibt sich eine Zeitdauer je Stück von 15 sec bei 30 Msec Personalbedarf. Ein Ofen mit einem Brennkammervolumen von 26 m³, 50% Füllgrad und 5 l je Stück (10 kg) könnte dann 2.600 Stück aufnehmen und in 11 Stunden, also 1,1 AT gefüllt werden. Da diese Arbeit jedoch nur während eines einzigen AT einer Charge anfällt, wird hier vereinfachend davon ausgegangen, dass die benötigten Mh durch Springer bzw. unter Mithilfe des für die anderen Aktivitäten ermittelten Personalbedarfes erledigt werden. Für den Antransport an den Ofen können folgende Überlegungen gelten: bei 2.600 Rohlingen, einem Transportweg von 50 m, 2,7 km/h und 10 l Last je Weg werden einschl. Rückweg 10 Mh benötigt; d. h. 2 Mitarbeiter á 5 h. Auch hierfür wird aus demselben Grund kein zusätzlicher Personalbedarf angesetzt.

2. Ziegel brennen

2.1 Brennverlauf

Der beim Brennen ablaufende thermodynamische Prozess wird mit sogenannten Brennkurven – ein Diagramm mit der Temperatur im Inneren des Ofens über der Zeitachse – beschrieben.

Quellenkatalog

Federhofer 2007 eA,19

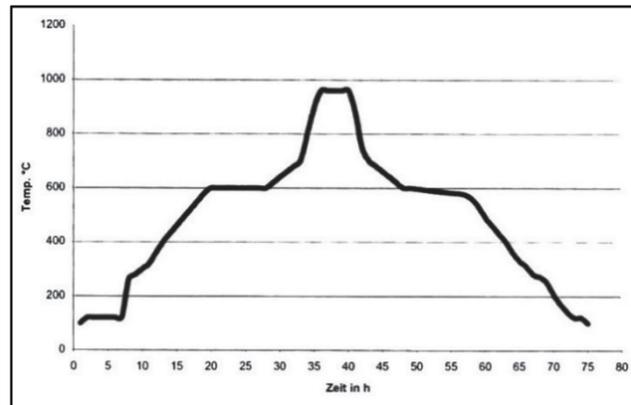


Abbildung 38 Ziegelbrennofen Flintsbach, Lkr. Deggendorf, Brennkurve (Federhofer 2007)

Deutlich sind in diesem Diagramm der nahezu glockenförmige Verlauf der Ofentemperaturkurve über der Zeit sowie die erreichte Maximaltemperatur von ca. 1.000 °C zu erkennen.

Bender 2008 gB, 269–271

zeigt die Schwankungsmöglichkeiten bei Brennkurven in modernen Ziegelbrennöfen und die dafür verantwortlichen Parameter, wie die Verschiedenartigkeit der Tonminerale, Restfeuchte der Rohlinge, Kalkbeimengung, Feuchtigkeit des verwendeten Brennholzes etc.:

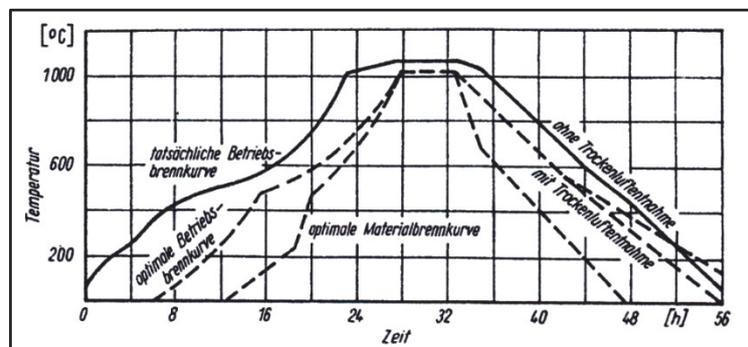


Abbildung 39 Brennkurven (Bender 2008)

Bönisch 1998a *eA*, 20

„Gegenüberstellung von optimaler und Betriebsbrennkurve. Die optimale Brennkurve ist der labormäßig ermittelte kürzeste Temperaturverlauf, mit der ein aus einer bestimmten Arbeitsmasse hergestellter baukeramischer Rohling qualitativ einwandfrei gebrannt werden kann.“³¹⁰

beschreibt die Phasen des Heizens und Brennens und die dabei zu machenden Beobachtungen: „Beim periodischen Ofen ist die Wärmeausnutzung relativ niedrig, weil Rauchgas bei dem kurzen Weg durch den Ofen nur wenig von seinem Wärmeinhalt an das Brenngut abgeben kann. Ständig muss neues Rauchgas produziert werden. Bei einem Brand ... des Ofens von St Urban kann etwa mit folgenden Werten gerechnet werden:

Nutzwärme ca. 6%

Wärmeverluste ca. 94%

davon ca.

90% Rauchgasverluste

2,5% Speicherverluste

1,5% Wanddurchgangsverlust

Es wird deutlich, dass die Wandstärke des Ofens für Wärmeverluste praktisch bedeutungslos ist. Die entscheidenden Einflussgrößen sind Temperaturvergleichmäßigung über den Querschnitt und die Brennzeit.“

- 21 ca. 100 °C: Ofen schwitzt, Wasserdampf Wolken
 ca. 400 °C: Besatz und Rauchgas entzünden Späne
 ca. 550 °C: Flimmern über dem Ofen
 ca. 650 °C: beginnende Eigenstrahlung
 ca. 750 °C: deutliche Eigenstrahlung
 ca. 950 °C: bei Temperaturüberschreitung: Verformungen³¹¹

³¹⁰ 270 Bild 10.2; auch hier ist die Brenndauer keine Quelle für verwendbare Daten, da es sich um Verhältnisse in einem modernen Ofen handelt. Gleichwohl bleibt die Form der Brennkurve auch für solche Öfen bestehen.

³¹¹ a. a. O., Werte entnommen aus 21 Abb. 3. Dies sind sicherlich auch die Steuerungsgrößen der Brenner in der Antike gewesen; sie sind Hinweis auf ein sehr qualifiziertes Fachwissen der damaligen Ziegelhersteller.

In Abb. 39 und in den Ausführungen von Bönisch wird deutlich, dass theoretisch hergeleitete Brennkurven für Brennprozesse in römischen Ziegelöfen wenig Aussagefähigkeit haben würden. Zu groß sind die möglichen Schwankungen zwischen Theorie und Praxis und zu schwach die Basis bei der Ermittlung der dazu benötigten Parameter. Aus diesem Grunde werden für die Betrachtungen Daten aus Angaben zu realen Versuchen mit römischen Schachtofen verwendet.

Heizen und Brennen

Eine theoretische Berechnung mit verfahrenstechnisch abgesicherten Werten ist wegen der Vielzahl der möglichen Parameter nicht zielführend. Es wurden hier deshalb Daten aus Experimenten mit dem römischen Schachtofen ausgewertet.

Quellenkatalog

- | | |
|---|---|
| Federhofer 2011 <i>eA</i> , 12 | <p>Versuche im Schachtofen</p> <p>Brennkammervolumen $2,5 \times 2,6 \times 1,8\text{m} = 12\text{ m}^3$</p> <p>Brenndauer 30–40 h incl. Vorfeuer; danach abkühlen</p> <p>Brennkurve siehe Federhofer 2007</p> <p>Brenngut: <i>tubuli</i> $2,6\text{ m}^3$ Lehm Füllgrad 22 %</p> <p>daraus berechnet: bei mittlerem Wert 36 h: $14\text{h}/\text{m}^3$ Lehm und $3\text{ h}/\text{m}^3$ Brennkammer</p> |
| Immenkamp 2010 und Immenkamp 2016/7 <i>eA</i> , | <p>Versuche im Museum in Lage im Schachtofen Brennkammervolumen: $4,2 \times 3,6 \times 1,9\text{ m} = 29\text{ m}^3$</p> <p>Brenndauer 93 h (Schmauch: 18–24 h, Aufheizen: 48 h, Garbrand 24 h); danach Abkühlen</p> <p>Brenndauer 93 h (Schmauch: 18–24 h, Aufheizen: 48 h, Garbrand 24 h); danach Abkühlen</p> <p>Brenngut <i>lateres</i> $1.800\text{ lateres } 37 \times 37 \times 6\text{ cm} = 15,3\text{ m}^3$
 → Füllgrad 53 %</p> <p>daraus berechnet: $6\text{ h}/\text{m}^3$ Lehm und ca. $3\text{ h}/\text{m}^3$ Brennkammer</p> |

Bei beiden Versuchen ergab sich der gleiche spezifische Zeitbedarf je m^3 Ofenvolumen und nicht je m^3 zu brennenden Lehms. Dies führt zu der Überlegung, dass bis zu einem bestimmten Volumen der Rohlinge die Ofengröße das bestimmende Maß für die Brenndauer zu sein scheint: je größer das zu beheizende Ofenvolumen, desto größer der Energiebedarf; der Füllgrad erscheint dabei unerheblich. Dies würde mit der oben genannten Aussage von Bönisch zu den Wärmeverlusten in Einklang stehen, nach der 94 % der Wärme als Rauchgas- und Wandverluste ungenutzt entweichen. Je größer der Ofen, desto

größer deshalb der Wärmebedarf. Dass dies jedoch nicht für besonders großvolumige Rohlinge gilt, geht aus den Angaben zu einem Experiment von Bönisch 1998a *eA* hervor:

21 Schachtofen: 9 m³ Brennkammer; Brenndauer 220 h

Rohlinge $45 \times 25 \times 25 \text{ cm} = 28 \text{ l}$ (mehr als die 3-fache Dicke der römischen Ziegel)

– 84 Stück = 2,4 m³ – 27 % Füllgrad;

daraus berechnet: ca. 92 h/m³ Lehm bzw. 24 h/m³ Brennkammer (8-faches der röm. Ziegel)

Mit dem physikalischen Gesetz, nach dem beim Wärmedurchgang durch ein Medium ein linearer Zusammenhang zwischen Wandstärke und Temperaturgradient besteht, und demnach dickere Ziegel mehr Zeit für das Durchdringen mit der erforderlichen Temperatur benötigen, kann dieser Unterschied begründet werden.³¹² Beim Brennen der vergleichsweise dünnen römischen Ziegel ist dieser Effekt offensichtlich nicht relevant. Hier prägen die Ofengröße und die damit verbundenen Verluste die Dauer des Brennens.

Weitere Quellen

DeLaine 2001 *AS*, 262

gewählt aus einer Bandbreite für „historic firing times“ von 30–180 h für Öfen in der Größe der von ihr verwendet: 60 h Brenndauer für einen Brand³¹³

Charlier 2011 *nH*,
682

Fig. 5.4.347 – Caractéristiques de cuissons de macotecs classées par durée, de 13 heures à 21 jours.
Auswertung der Öfen (neuzeitliche Mauerziegel) in Mazzano Romano Anfang 21. Jh.; L’Hôte-Chamodont 1970–1980; Monbahu 1989; Ruffec 1990; Saint-Phal 1979; Treuzy-Leveley 1990 ergibt 0,5–2 h/m³ Brennkammer bei einem Füllgrad von 50 %

Die Quellen mit experimentell gewonnenen Daten lassen einen Wert von 3 h/m³ Brennkammer für die Betrachtungen mit römischen Ziegeln in Schachtofen als plausibel erscheinen.

³¹² siehe <<https://www.grund-wissen.de/physik/waermelehre/ausbreitung-von-waerme.html>> (18.04.2018).

³¹³ Eine Begründung hierfür wird nicht geliefert. Da dies eine eher willkürliche Schätzung für einen ohnehin nicht vergleichbaren Ofentyp ist, ist selbst zu Vergleichszwecken der sich dort ergebende Wert von 0,6 h/m³ Ofenvolumen nicht verwendbar; auffallend ist überdies, dass er im unteren Bereich der o. g. Werte für neuzeitliche Mauerziegelproduktionen liegt; demzufolge vermutlich eher moderne Produktionsmethoden abbildet als antike.

Abkühlen

Eine Auswertung von Abkühlzeiten in Relation zu den Brennzeiten (Abb. 40) ergab für unterschiedliche Ofentypen/-größen und Epochen einen Mittelwert von 1,0. Dieser ergibt sich auch für die beiden zur Gewinnung der spezifischen Brennzeiten herangezogenen Quellen (Quelle 6: Federhofer; Quelle 11: Immenkamp). Auffallend ist der Wert aus Quelle 14, den Warry als Setzung aus einer Schätzung von DeLaine abgeleitet hat; er liegt ca. 60% höher; eine Begründung oder Herleitung wird hierzu nicht angegeben.³¹⁴

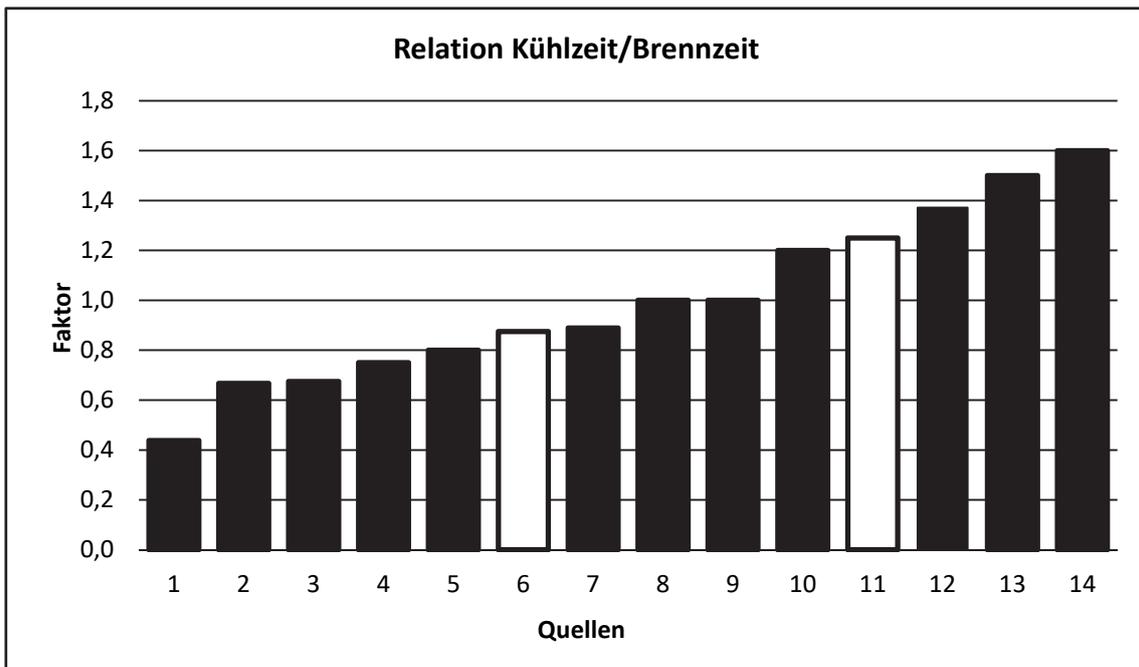


Abbildung 40 Brennkurve Zeit: Relation Kühlzeit zu Brennzeit

Für die weiteren Betrachtungen wird die Relation Brennzeit = Abkühlzeit eingesetzt.

2.2 Ofenkapazitäten

Die Grundfläche der Ofenbrennkammer kann in der Regel aus den Daten des Grabungsberichtes entnommen werden. Im vorliegenden Falle wurden für eine Annäherung an reale Werte in den NW-Provinzen Berichte zu römischen Ziegelöfen ausgewertet. Dies sollte Hinweise geben, inwieweit die verwendeten Gesetzmäßigkeiten für – nahezu – alle

³¹⁴ Quellen: 1) Bender 2008, 294 moderner deutscher Ofen; 2) a. a. O. 120 moderner großer Ofen; 3) Bender 1982, 377 aus: Tabelle 4: Tabellarische Darstellung einer Betriebsbrennkurve modernes Handbuch; 4) Bender 2008, 270 aus Brennkurve entnommen; 5) Bender 2008, 270 aus idealer Brennkurve entnommen 6) Federhofer 2007, 18 *Experiment*; 7) Bender 2008, 270 moderner Ringofen; 8) Schönauer 1815, 85 Richtwert; 9) Bender 2008, 94 moderner kleiner Ofen Handbuch; 10) Braukmüller 2000, 85 neuzeitlich; 11) Immenkamp 2010, 75 *Experiment* mit römischem Schachtofen; 12) Brandl – Federhofer 2010, 36 Erfahrungswert; 13) Young 1968, 321 neuzeitlich; 14) Warry 2006, 120 Setzung.

vorkommenden Ofengrößen sinnvoll erscheinen oder ob die Volumina derart unterschiedlich sind, dass Anpassungen – oder Ausgrenzungen – notwendig werden. Über die Höhe der Brennkammer gibt es dagegen bislang keine Angaben aus archäologischen Befunden; sie wurde deshalb hier aus vergleichbaren Anlagen in Experimenten, aus jüngeren Betrieben sowie über technologische Betrachtungen hergeleitet.

Brennkammerflächen

Für die Analyse standen Angaben zu 112 in den jeweiligen Berichten als Ziegelbrennöfen angesprochene Befunde zur Verfügung.³¹⁵

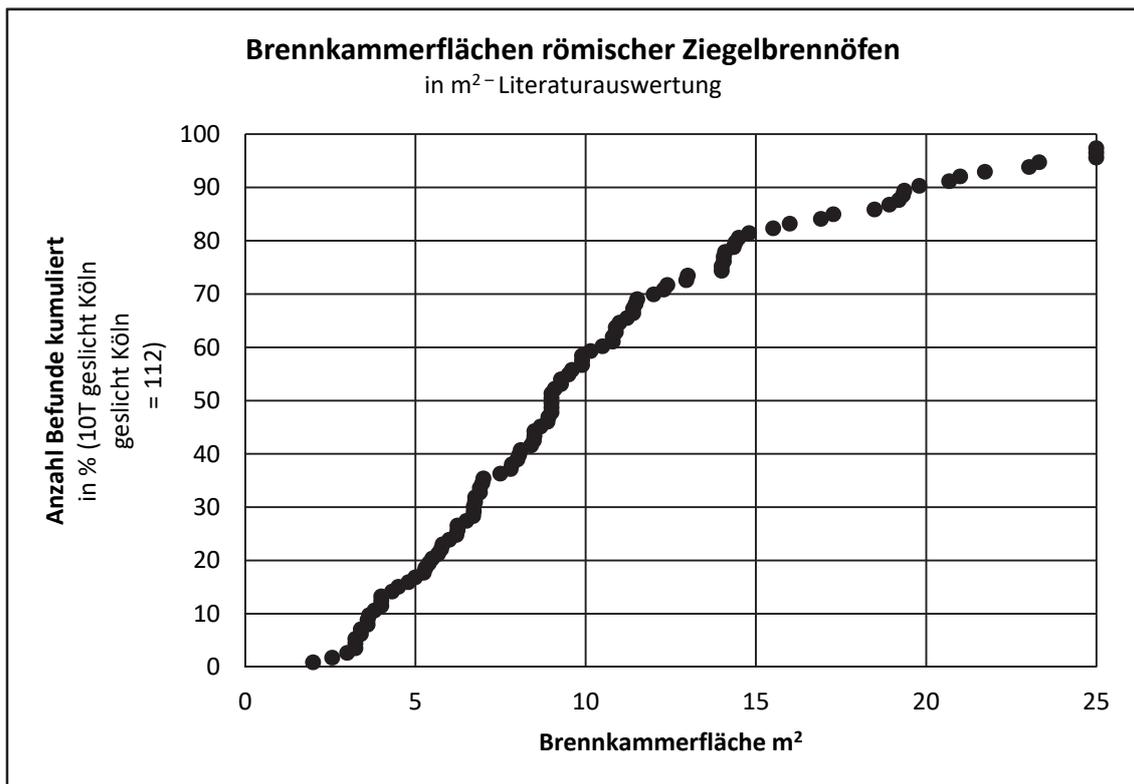


Abbildung 41 Brennkammerflächen aus 112 Befunden römischer Öfen

³¹⁵ Le Ny 1988, 98–131 15 Öfen; McWhirr 1979, 104–107 36 Öfen; Le Ny 1998, 27 2 Öfen (Mittelwerte aus Augst); Trimpert 2003, 174–204 20 Öfen; Federhofer 2007, 144–189 30 Öfen; Charlier 2011, 422,451 2 Öfen; jeweils 1 Ofen: Berger 1969, 4; Meyer-Freuler 2009, 28; Rabold 2009, 140; Federhofer 2011, 12; Hampel 2014, 28; Schwarz 2014, 84.

Eine Klassifizierung liefert folgende Struktur:

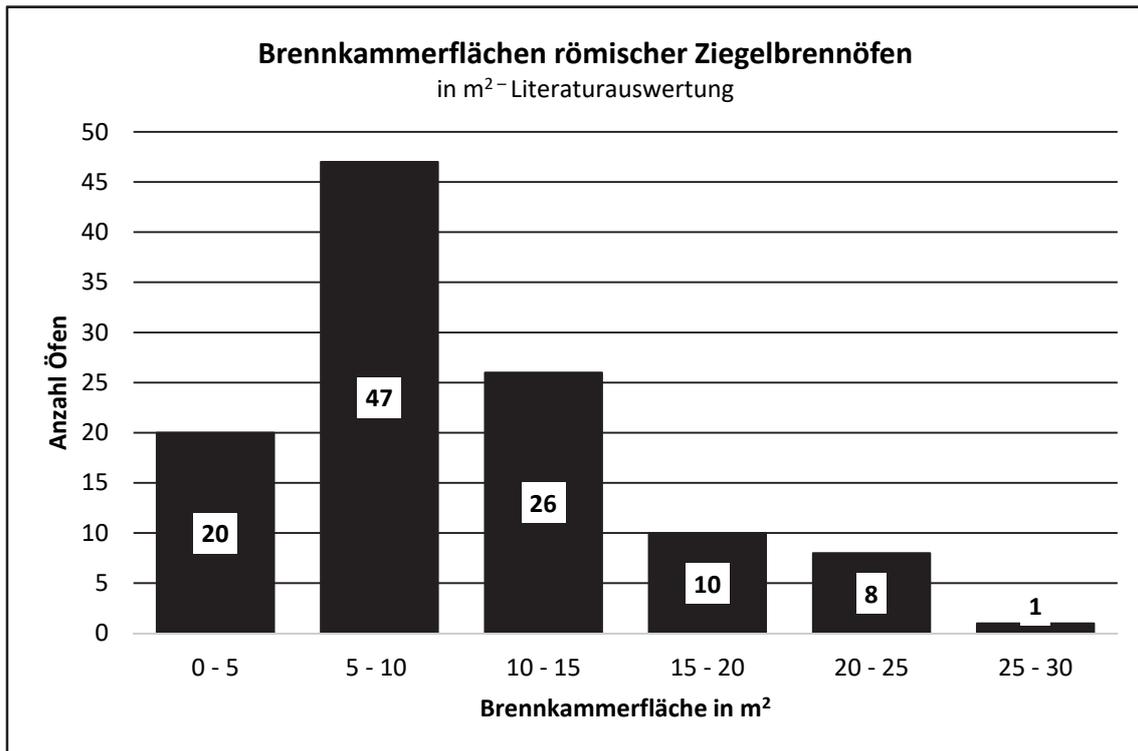


Abbildung 42 Brennkammerflächen aus 112 Befunden römischer Öfen

Demnach haben 80% der Öfen eine Brennkammerfläche bis 15 m², ca. 99% bis 25 m². Offensichtlich liegt bei dieser Bauart eine Obergrenze der Brennkammerfläche vor, außerhalb derer ein wirtschaftlicher Betrieb nicht gegeben ist. Die Öfen haben zudem unabhängig von der Größe eine nahezu quadratische Brennkammerfläche: siehe nachfolgende Abbildung, in der die größere Brennkammerlänge in der Regel maximal 1,5-fach größer ist als die kleinere. Grund hierfür ist, dass für eine solche Proportion der Abmessungen eine gleichmäßige Wärmeverteilung mit nur einem Heizgang besser zu bewerkstelligen ist als bei ausgeprägt langrechteckiger Bauweise.

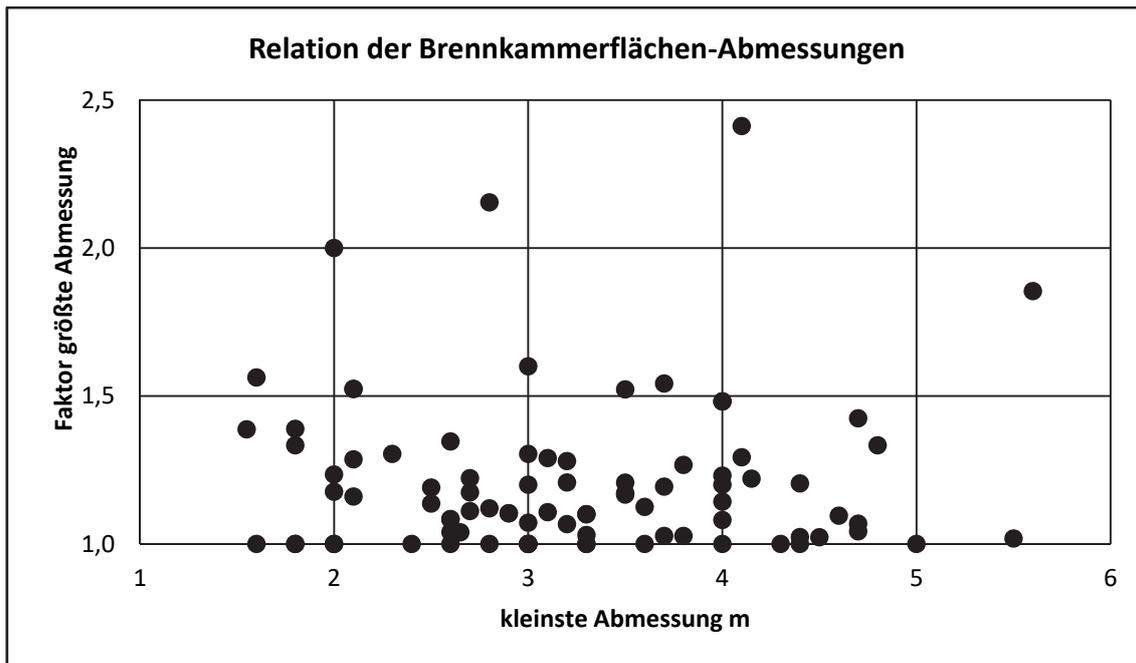


Abbildung 43 Relation der Brennkammerflächen-Abmessungen

Brennkammerhöhen

Seitenwände antiker Öfen sind nie in Gänze erhalten und können keine Daten zum Brennkammervolumen liefern. Angaben zu Brennkammerhöhen aus der Neuzeit und dem Mittelalter sind meist Angaben zu Öfen für Mauerziegel – nicht zu Öfen für die betrachteten *tegulae, imbrices, lateres*; die dort aufgeführten Höhen sind meist grösser als die für die römischen Produkte. Sie haben deshalb hier keine Aussagefähigkeit; sie werden jedoch beispielhaft aufgeführt. Aus diesen Gründen wurde bei der Herleitung plausibler Brennkammerhöhen wiederum auf Werte aus Versuchen und auf Schätzungen zurückgegriffen.

Quellenkatalog

- | | |
|------------------------------|--|
| McWhirr 1979 <i>AS</i> , 99 | „... makes loading the kiln easier, for a two metre high kiln-wall would not be an obstacle ...“ |
| DeLaine 1997 <i>AS</i> , 117 | „moderately large Roman kiln“ mit <u>4 m</u> Höhe und <u>100 m³</u> Brennkammervolumen. Es werden keine Herleitung und kein zugehöriger Befund für diese außergewöhnliche Höhe genannt. ³¹⁶ |
| Bönisch 1998a <i>eA</i> , 17 | Experiment ortsfester Ziegelofen, „er wird in kleinen dörflichen Ziegeleien in Italien heute noch benutzt, Herdfläche ca. 5 qm, Brennkammer 9 cbm Volumen; <u>1,8 m</u> Höhe ist für Ziegeleierzeugnisse normal. Sie ist bei allen |

³¹⁶ Die angegebenen Daten sind demnach hier nicht verwendbar.

- Warry 2006 Z (AS), 119
Federhofer 2007 eA, 57
- ortsfesten Öfen, bis zum modernen Tunnelofen, durch den Besatz bestimmt, da das erweichende Brenngut bei maximaler Brenntemperatur nur begrenzt belastbar ist.“ zitiert McWhirr: „implies 2 m as a sensible height“ Experiment: 1,62 m Brennkammerhöhe sind rechnerisch nötig, um die eingesetzten *tubuli* zu stapeln; jeder Formling trägt das 5-fache seines Eigengewichtes. „Als begrenzender Faktor für die Anzahl der Lagen wird von Praktikern weniger die Tragfähigkeit der lufttrockenen Formlinge angesehen, als vielmehr die Instabilität des Stapels mit zunehmender Höhe. (frdl. Hinweis J. Ehlers Leitzl-Werke Polsenz/Efferding.)“ Anmerkung: rechnet man die nötige Abdeckung noch hinzu, ergeben sich ca. 2 m Brennkammerhöhe
- Meyer-Freuler 2009 aB, 28
- Ausnahmefall: $5,4 \times 5,5 \text{ m}^2$ Brennkammerfläche; „Man geht davon aus, dass die Brennkammer etwa 5,5 m hoch war. Diese Höhe kann zwar nicht nachgewiesen werden, doch die Ausgräber beziehen sich auf Beispiele aus dem mediterranen Gebiet und kommen zu dem Schluss, dass die Höhe eines Ofens etwa seiner Breite entspricht.“ Es wird nicht angegeben, welche Quellen die Ausgräber verwendet haben, ob vergleichbare Öfen vorlagen oder ob Daten aus kleineren Öfen hochgerechnet wurden.³¹⁷
- Immenkamp 2016/7 eA,
- „Rekonstruktion eines römischen Militärziegelofens aus Dormagen Experiment ergab mit 1,9 m Höhe gut durchgebrannte Ware; bei Erhöhung um 1 m waren nur die Ziegel in der Mitte zufriedenstellend; am Rand war Schwachbrand. $4,2 \times 3,6 \text{ m}$ Brennraumfläche. Die max. Leistungsfähigkeit dieses Ofentyps wird etwa bei 2,5 m Brennraumhöhe gelegen haben, ... Höhere Brennraumhöhen hätten zu unwirtschaftlichen Brennergebnissen geführt.“
- Bönisch 2015/6 eA,
- „1,8 m bis 2 m sind für die hier anzustellenden Betrachtungen der am meisten angemessene/ ‚vernünftigste‘ Wert; die mögliche Stapelhöhe hängt von der Zusammensetzung des Brenngutes ab; maßgeblich ist der Erweichungspunkt beim Brennen; das Erweichungsintervall liegt je nach Material bei 30 bis 150 °C.“

³¹⁷ Deshalb erscheint dieser Wert unbegründet und daher nicht verwendbar.

Ziegelmeister Keller Lage 2015 <i>eA</i> ,	zum Experiment in Lage (siehe Immenkamp) mit röm. Ziegelofen aus Dormagen: „wenn zu hoch: zu starker Zug und die Rohlinge verbrennen.“
Ziegeleimuseum Westerholt 2017 <i>nH</i>	Abbildung moderner Ringofen beim Beschicken; daraus abzuschätzen: Brennkammerhöhe im obersten Punkt <u>ca. 2–2,2 m</u> . ³¹⁸

Ausschlaggebend für die Höhe einer Brennkammer sind demnach

- die begrenzte Stapelbarkeit der Rohlinge
Die Ziegel werden in der ersten Phase des Brennens weich und es drohen Verformungen der unteren Ziegel durch die darüber gestapelten.
Das aufrechte Stapeln großer, flacher Ziegel birgt die Gefahr der Instabilität des eingesetzten Brenngutes.
Außerdem ist die zusätzliche Last durch die obere Abdeckung der Ziegel mit Ziegelplatten o. ä. zu berücksichtigen.
- das Sicherstellen eines möglichst gleichmäßigen, nicht zu schnellen Rauchgasdurchzuges
Zu hohe Öfen bergen die Gefahr zu starken Zuges und somit schwer steuerbaren und ungleichmäßigen Brennverhaltens. Dies gefährdet die Gleichmäßigkeit der Produktqualität.
Zu niedrige Öfen liefern ebenfalls nur mindere Qualitäten.

Für die Berechnungen wurde eine Brennkammerhöhe von 2 m (wie in den Experimenten als sinnvoll erachtet) eingesetzt.

Brennkammervolumen

Aus den Werten für die Brennkammerflächen und die -höhen ergeben sich bei den o. g. Öfen Brennkammervolumina von bis zu 50 m³ (99 % der Werte) bzw.

20 Öfen	mit 2 – 10 m ³	18 %
47 Öfen	mit 10 – 20 m ³	42 %
26 Öfen	mit 20 – 30 m ³	23 %
10 Öfen	mit 30 – 40 m ³	9 %
8 Öfen	mit 40 – 50 m ³	7 %

³¹⁸ <<http://www.ziegeleimuseum-westerholt.de/funktion---betrieb.html>> (08.07.2017).

In diesen Öfen sind dann bei 50% Füllgrad theoretisch folgende Beladungszahlen maximal möglich:

Typ	Volumen	10 m ³	20 m ³	30 m ³	40m ³	50 m ³
	1	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
<i>tegula</i>	5	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000
<i>imbrex</i>	1,5	3.333	6.667	10.000	13.333	16.667
<i>1 tegula + 1 imbrex</i>	6,5	769	1.538	2.308	3.077	3.846
<i>bessalis</i>	2	2.500	5.000	7.500	10.000	12.500
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	5	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000
<i>sesquipedalis</i>	10	500	1.000	1.500	2.000	2.500
<i>bipedalis</i>	27	185	370	556	741	926
röm. Mauerziegel I	3,4	1.470	2.940	4.410	5.880	7.350
röm. Mauerziegel II	10	500	1.000	1.500	2.000	2.500
Mauerziegel 19. Jh	2	2.500	5.000	7.500	10.000	12.500

Tabelle 18 Maximal mögliche Brennkammerbefüllung

2.3 Energiebedarf

In der Literatur werden verschiedenartige Brennmaterialien für das Ziegelbrennen genannt (siehe nachf. „Beispiele verwendeter Brennmaterialien“). Um die jeweils eingesetzten Mengen bezüglich ihres Energieinhaltes miteinander vergleichen zu können, ist es deshalb nötig, Umrechnungsfaktoren zu verwenden.³¹⁹ Dazu werden die Heizwerte mit der Einheit MWh/kg (bzw. kWh/kg) der einzelnen Stoffe herangezogen. Auf dieser Grundlage konnten dann die verschiedenen Werte aus realen Betrieben, Versuchen und Handbüchern aufgearbeitet, verglichen und zur Herleitung eines Richtwertes für die vorliegende Studie verwendet werden.

Die Gewinnung des Brennmaterials Holz ist – wie der Abbau des Lehms – nicht direkter Bestandteil der Prozesskette Ziegelherstellung, sondern dieser vorgelagert. Im Sinne eines übergreifenden Betriebsmodells werden hierzu in einem separaten Kapitel außerhalb der Ziegelherstellung Betrachtungen zu Beständen und zur Holzgewinnung vorgelegt.

³¹⁹ siehe hierzu auch Ehmig 2012, 185 mit der Forderung „Primär muss Um- und Hochrechnungen von Holzaufwendungen ein einheitliches Maß zugrunde liegen.“ und der Quellenkritik „So simpel die Feststellung ist, so wenig einheitlich ist der Befund in der Forschungsliteratur. Angaben werden in Raummeter, Schüttraummeter, Festmeter, Kubikmeter, Kubikfüßen oder Kilogramm gemacht, auch Wagenfahren dienen als Quantifizierungseinheit.“ „Nur selten wird erläutert, ob Berechnungen anhand von frisch geschlagenem oder getrocknetem Holz erstellt werden.“

Brennmaterialarten

Eingesetzte Materialien waren Holz, Stroh, Sträucher, Gestrüpp etc. Somit: Alles, was brennt. Fossile Brennmaterialien wie Kohle und Erdöl wurden für den Betrachtungszeitraum nicht nachgewiesen.

Heizwerte

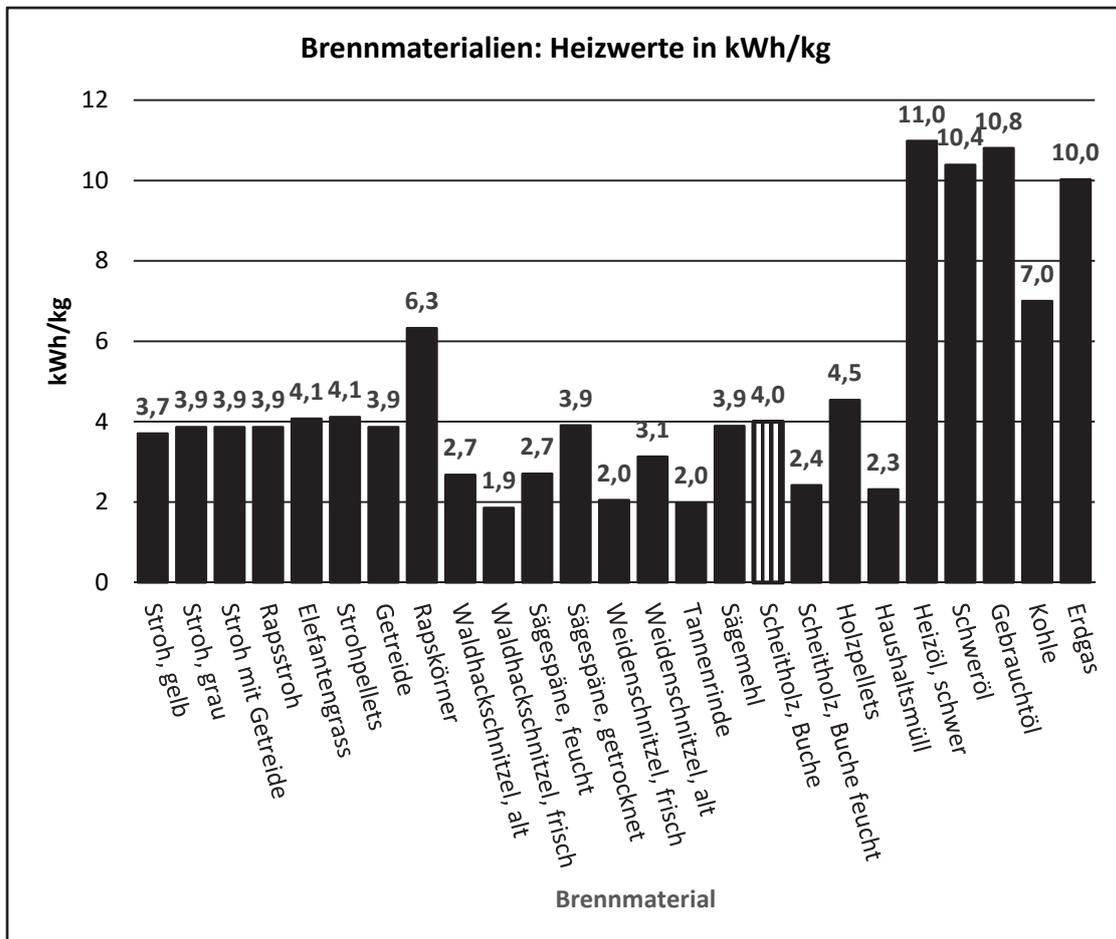


Abbildung 44 Heizwerte verschiedener Brennmaterialien³²⁰

Auffallend in der Abbildung ist der spezifische Energiewert bei den getrockneten Gräsern, der nahezu dem von Buche gleicht – lediglich ihr Volumen je kg unterscheidet sich erheblich.³²¹

³²⁰ Werte aus: <<http://www.heizung-direkt.de/UEBERSHO/brennwert.htm> 04.11.2015 mit Ergänzungen aus: <<https://www.gammel.de/de/lexikon/heizwert---brennwert/4838>> (17.03.2017).

³²¹ Zum Vergleich: 1 moderner (gepresster) Rundballen Stroh hat einen Durchmesser zwischen 120 und 180 cm bei einer Breite von 120 cm (ca. 2 m³) und wiegt ca. 100 bis 130 Kilogramm (= ca. 60 kg/m³) und hat somit einen Heizwert von ca. 400 kWh; dies entspricht dem von ¼ rm Buchenholz.

Quelle: <<http://www.heu-heu.de/stroh/mini-kleine-und-grosse-strohballen/>> (17.03.2017). Nach

Ergänzungen: Zapfen und Leseholz: 2,3 kWh/kg³²²; Olivenkerne: 5,6 kWh/kg³²³; Torf: 4,2 kWh/kg³²⁴

Weitere Quellen

Beispiele verwendeter Brennmaterialien (alternativ oder zusätzlich zu Holz):

Le Ny 1992 <i>aB</i> , 77	Kräuter, getrocknetes Laub, Rinden, Tannenzapfen und -nadeln, Olivenkerne, Torf, Kreide, Binsen, Schilf, Stechginster, Heidekraut, Weißdorn, verschiedene getrocknete Büsche. ³²⁵
Bender 2008 <i>gB</i> , 284	„Bis etwa 1800 wurden als Brennstoff für den Feldbrand, je nach regionaler Verfügbarkeit, Torf, Holz aller Art, Reisig, Stroh, Rohr, Schilf, trockenes Heide- und Farnkraut, Olivenkerne, getrockneter Dung (in Indien noch heute) etc. eingesetzt. Ab 1800 Steinkohle.“

Insbesondere für das einfache, gelegentliche Brennen für den Eigenbedarf in Siedlungen, bei dem möglicherweise die benötigte Maximaltemperatur nicht erreicht werden konnte und bei dem Ware geringer Qualität erzeugt wurde, ist eher minderwertiges Brennmaterial anzunehmen. Holz fällen und für das Verbrennen aufzuarbeiten, war – bei den vielen anderen höherwertigen Verwendungen des Rohstoffes Holz – sicherlich hierfür zu aufwendig und zu kostenintensiv.

Bei Betrieben mit industrieähnlicher Ziegelproduktion und festen Öfen ist jedoch eine kontinuierliche Versorgung mit Material annähernd gleicher Brennqualität eine Grundvoraussetzung für planvolles Wirtschaften. Explizit dafür aufbereitete Holzstücke (z.B. Scheite) und das anfallende Reisig sowie Büsche von Waldrändern können dies

<<https://agrarheute.landlive.de/boards/thread/9328/page/1/>> (18.03.2017) liegt der heutige! Strohertrag bei ca. 70 dt/ha (bei 1dt = 100 kg → 70 × 100 kg = 7 t Stroh je ha. Im 18. Jh. waren es nach Schenk 2017, 70 dz/ha Getreideertrag; in der Dreifelderwirtschaft der früheren Zeit lediglich 4 dz/ha; bei einem Korn/Strohertrag von ca. 1 : 1 (bei heutigem Anbau und relativ kurzer Stoppelhöhe von 20 cm lt. Kaltschnitt – Wiese 1993, 209) ist für die römische Zeit vermutlich nicht mehr als 400 kg Stroh je ha anzusetzen. Der Strohertrag eines ha Getreide von 400 kg liefert bei 3,9 kWh/kg somit ca. 1,6 MWh. Dies entspricht ungefähr dem Heizwert von ca. 1 rm trockenem Buchenholz.

³²² Bönisch 1998, 32 umgerechnet.

³²³ <<http://www.biomass-center.com/olivenkerne.htm>> (25.10.2016)

³²⁴ <<http://www.bio-ethanol-kaminofen.de/heizwerte/brennwert.php>> (25.10.2016) und Pfannkuche 1986, 209

³²⁵ „herbes et feuilles séchées, écorees, aiguilles et pommes de pins, noyaux d’olives, tourbe, charbon, jones, roseaux, ajoncs, genêts, bruères, aubépine et buissons desséchés divers.“

sicherstellen.³²⁶ Holz und Reisig stehen deshalb auch für die hier angestellten Betrachtungen im Vordergrund. Wie weiter oben berichtet, wird nach dem Aufheizen des Ofens und dem Austreiben des Wassers aus den Rohlingen mit Scheitholz zur zügigen Erhöhung auf die Brenntemperatur von ca. 1.000° C Reisig verwendet. Dafür ist eine verstärkte Energiezufuhr notwendig, die am besten durch Vergrößerung der energiefreisetzenden Brennmaterialoberfläche erreicht werden kann. Reisig bietet hierfür sehr gute Eigenschaften: Der Heizwert von Reisig ist gleich hoch wie bei Scheitholz (falls beide von gleicher Holzart und gleichem Trocknungsgrad sind). Die Oberfläche je kg Material ist jedoch erheblich größer und kann je kg Material mehr Energie je Zeiteinheit abgeben als die Scheite: die Abbrandgeschwindigkeit (Abbrandrate/burning rate in g/sec) und die damit verbundene Energiefreisetzung des Wärmestromes (heat flux) in kWh/sec ist hier höher als bei Scheitholz. Allerdings ist damit auch der Materialverbrauch je Zeiteinheit höher und es muss wesentlich mehr Brennmaterial je Zeiteinheit eingebracht werden.³²⁷ Als Holzart für den zu ermittelnden Richtwert wurde Buche ausgewählt.³²⁸

³²⁶ Warry 2006, 121; Greene – Johnson 1978, 31; Hampe – Winter 1965, 117 berichten über den Einsatz von Sammelholz bzw. Unterholz aus Wäldern. Hierbei ist der Beschaffungsaufwand geringer als bei zu fällenden und aufzubereitenden Bäumen. Unterschiede im Heizwert sind nicht gegeben. Jedoch ist für einen umfangreichen, industrieähnlichen Brennbetrieb das in den Wäldern vorzufindende Totholz bzw. Le-seholz nicht in ausreichender Menge vorhanden.

³²⁷ siehe auch Federhofer 2007, 16 „die freigesetzte Wärmemenge ist beim Verbrennen von Holz umso größer, je größer die Oberfläche des Materials bzw. je kleinteiliger die Brenngutstruktur ist. Bei einer beabsichtigten Temperatursteigerung erfolgt die Beheizung mit kleinerem Stückgut. Zum langsamen vorwärts Treiben bzw. konstant halten der Temperatur innerhalb bestimmter Bereiche (z. B. in der Anwärmphase) wird Holz mit größerem Querschnitt bevorzugt“; siehe auch Schaller 1828, 145 „Zum Brennen der Thonwaare überhaupt kann hauptsächlich nur das Flammenfeuer benutzt werden“ Reisig kann dieses Kriterium besser als grobe Holz-scheite erfüllen.

³²⁸ Nenninger 2001, 101 „Für die tieferen Lagen Germaniens, wie die Niederrheingegend sind im 1. Jhd. AD Buchenmischwälder mit hohem Anteil an Eichen vorherrschend“ „ähnliche Waldzusammensetzungen konnten für die Umgebung Kölns nachgewiesen werden“ 102/3 auch für die Wetterau und Gebiete des Taunus und im hessischen Bergland, in Baden-Württemberg, im Pfälzer Bergland, im Odenwald und Spessart waren Laubwälder mit Buchen dominierend.

Bunnik u. a. 1995, 169 Kulturwandel um Christi Geburt: „die Wälder konnten zu naturnahen Waldgesellschaften regenerieren, in denen die Buche vorherrschte und nun auch die Hainbuche eine bedeutende Rolle spielte. Diese Phänomene sind vor allem in den Gebieten beiderseits des Rheins von der Ober-rheinebene zu der niederländischen Küste gut zu beobachten.“

Meurers-Balke – Kalis 2006, 271 ein Pollendiagramm für die Jülicher Börde um Christ Geburt und später zeigt: Buche (und Eiche) sind immer vorhanden

Heizwert: 4 kWh/kg³²⁹ bei trockenem Material³³⁰

Spezifische Werte zur Umrechnung:

1 rm trockenes Scheitholz = 425 kg³³¹

Daraus ergibt sich: 1.700 kWh/rm für Scheitholz.

Reisig (trocken) wird in Bündeln zu 6 kg je Bündel eingesetzt³³²

1 rm Reisig = 200 kg³³³

Daraus ergibt sich: 800 kWh/rm bzw. 24 kWh/Stück für Bündel.

Auswertungen zum Anteil der aus Reisig gewonnenen Energiemenge eines Brandes:

Experiment Lage: 12 rm Holzscheite, 30 rm Reisig Anteil Reisig 53 %³³⁴

Schachtofen Quelle 3 60 m³ Holz 3.000 fagots 45 %³³⁵

Schachtofen Quelle 7 90–100 stères 3.000 ramillons 34 %³³⁶

³²⁹ siehe Abb. 44 Heizwerte verschiedener Brennmaterialien.

³³⁰ Feuchtes (frisch geschlagenes) Holz verbraucht beim Verbrennen Energie zum Austreiben des Wassers aus dem Holz, die dann nicht zum Brennen von Ziegeln zur Verfügung steht; es hat somit einen geringeren Heizwert und wird in der Regel nicht eingesetzt. Das benötigte Brennholz muss somit nach dem Fällen trocknen. Als Zeitraum für diesen Vorgang werden bis zu 2 Jahre genannt (bei permanentem Schutz gegen Regen) in: <<http://www.austroflamm.com/de/Lexikon/Heizen-mit-Holz/>> (25.04.2016). Inwieweit diese Frist in der Antike eingehalten wurde, ist nicht nachprüfbar. Ungeachtet dessen ist jedoch auch dort mit einer nicht unerheblichen Vorlaufzeit der Fällarbeiten vor dem Einsatz im Ziegelofen auszugehen. Die entsprechenden Waldarbeiten waren demzufolge ausreichend früh vor Beginn einer Brennseason zu starten.

Als trockenes Holz wird hier Holz mit 20 % Restfeuchte verwendet; siehe auch <http://www.kaminholz-wissen.de/gewicht-von-holz-dichte.php> 24.10.2016; bei besserem Trocknungsgrad, z. B. in den Mittelmeerländern sind evtl. geringere Restfeuchte-Werte – und somit höhere spezifische Heizwerte anzunehmen.

³³¹ 1 Raummeter rm = 0,55 Festmeter fm. Andere Quellen liefern höhere Werte – 0,7 in: <<https://web.archive.org/web/20141104155749/>> (12.08.2015), <<http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-20-scheitholz.pdf>> (12.08.2015) – für exakt gespaltenes, gelängtes und gerichtet abgelegtes Scheitholz. Bei einem spezifischen Gewicht von 780 kg/fm (Kroymann 2016) würde dann 1 rm 546 kg wiegen. Aber <http://www.kaminholz-wissen.de/gewicht-von-holz-dichte.php> 21.03.2017 liefert Werte für verschiedene Stückgrößen: gerichtet abgelegtes, gestapeltes Scheitholz 490 kg/rm und kürzeres, geschüttetes Holz mit 366 kg/rm. Als Aufbereitungs- und Lieferzustand für die Antike wird hier eine Mischung aus gestapeltem und geschüttetem Holz angenommen; dafür ergibt sich dann 425 kg/rm. Plausibilitätsbetrachtungen: bei 4 kWh/kg trockenes Buchenholz liefert 1 rm dann 1.700 kWh für diese Arten von Brennholz.

³³² Daten vom Verfasser am 26.2.2016 in einem Revier im Forstamt Rheinbach bei einem Reisigbündeler im Beisein des Forstbeamten Hr. Kroymann erhoben.

³³³ a. a. O.

³³⁴ Immenkamp 2011b.

³³⁵ Charlier 2011, 682 Umrechnungsfaktor 1 fagot = 1 Bündel = 6 kg.

³³⁶ a. a. O. Umrechnungsfaktoren: 1 stér = 1 rm, 1 ramillon = 1 Bündel = 6 kg.

Durchschnitt: 44% der benötigten Energiemenge eines Brandes werden aus Reisig gewonnen.

Wegen der geringen Anzahl Basiswerte kann dieser Durchschnitt lediglich als Orientierungsgröße verwendet werden. Falls für ein Betriebsmodell mit dem Einsatz anderer Brennmaterialien zu rechnen ist, kommen deren Werte aus Abb. 44 zum Einsatz. Sie wurden auch bei den Umrechnungen der Daten aus den nachfolgend verarbeiteten Quellen verwendet.

Brennmaterialmenge

Die am besten geeigneten Quellen sind auch hier die drei oben genannten Versuche mit Schachtföfen. Für diese liegen sowohl die Brennkammergrößen als auch die Volumina der Befüllungen und die verbrauchten Brennmaterialmengen vor.³³⁷ Die erforderlichen Umrechnungen erfolgten nach den o. g. Faktoren und unter Verwendung der jeweiligen Heizwerte. Als Vergleichswerte wurden auch Daten anderer Ziegelbrände in Schachtföfen ermittelt: Quellen 4–9 (mit Holz beheizt) und 10 (mit Kohle beheizt):

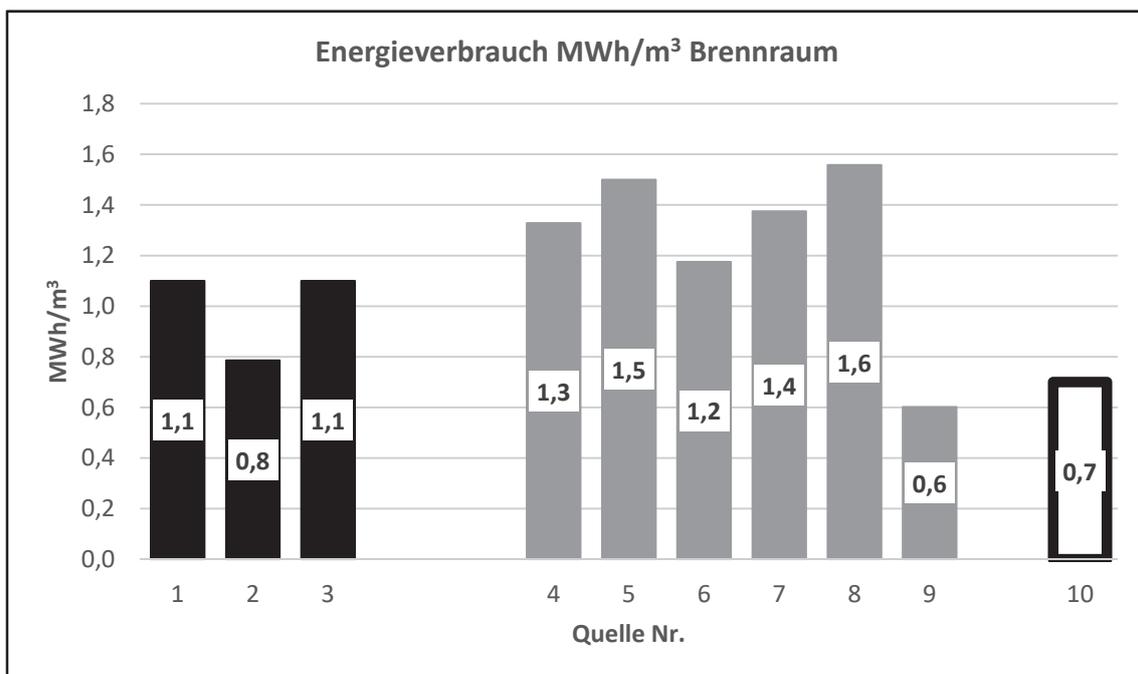


Abbildung 45 Energieverbrauch MWh/m³ Brennkammer

³³⁷ In anderen Quellen zum Energiebedarf werden meist nur Größen benannt, die sich einer Umrechnung verschließen; Beispiele: Le Ny 1988, 28 „gallo-römische Öfen 1.000 Bündel für 6.000 Ziegel“; Hartig 1827, 330 „30 rm Holz für 1.000 Steine“.

Quellen 1 bis 10

- Nr. 1 Federhofer 2011 *eA*, 12 Experiment mit *tubuli* in einer Brennkammer 12 m³, Brenngut 2,6 m³, Füllgrad 22 %
Brenndauer (bei 3 h/m³ Brennkammer): 36 h
- Nr. 2 Immenkamp 2010 *eA*; Immenkamp 2016/7 *eA* Experiment mit *lateres* im Ziegeleimuseum Lage , Brennkammer 29 m³, Brenngut 15 m³, Füllgrad 52 %;
Brenndauer: 87 h
- Nr. 3 Bönisch 1998a *eA*, 17 Experiment mit großvolumigen Bauteilen, Brennkammer 9 m³,
Brenngut 2,9 m³ Füllgrad 27 %,
Brenndauer 27 h
- Nr. 4–9 Charlier 2011 *gB*, 682 aus Fig. 5.4.347 – Caractéristiques de cuissons de macotecs classées par durée Öfen aus Mazzano Romao, L’Hôme-Chamodont, Monbahus, Ruffec, Saint-Phal, Treuzy-Levele alle aus der 2. Hälfte des 20. Jhs. bzw. später.
- Nr. 10 Young 1968 *gB*, 321 Ziegelherstellung Mitte 20. Jh.;

Als Energieverbrauch in MWh/m³ Lehm wurden aus den genannten Quellen ermittelt:
Quelle Nr. 1: 5,2–2: 1,4–3: 4,2–4: 2,7–5: 3,0–6: 2,3–7: 2,7–8: 4,7–9: 1,2–10: 1,4.

Wie bei der Ermittlung der sinnvoll zu verwendenden Brenndauer erweist sich auch hier die Brennkammergröße als die besser geeignete Bezugsgröße.³³⁸ Demnach lag es nahe, 1,0 MWh/m³ Brennkammer als Bemessungszahl für die benötigte Energiemenge beim Brennen in römischen Schachtföfen anzusetzen.³³⁹ Auffällig ist, dass auch bei den moderneren Öfen die Werte in dieser Größenordnung liegen.

³³⁸ Ehmig 2012, 179 berichtet über Auswertungen zum Energiebedarf von Keramiköfen bei Nachbildungen antiker Öfen; auch dort liegt ein direkter Zusammenhang zwischen Ofengröße und Energiebedarf vor und nicht zwischen Befüllmasse und Energiebedarf.

³³⁹ Vergleichbare Studien arbeiten hingegen mit Angaben, die wegen mangelnder Nachvollziehbarkeit eine Weiterverwendung nicht zulassen:

DeLaine 2001, 263 Tab. 11.B4 Brick-kiln firings. Darin werden Daten aus Produktionen von Mauerziegeln im 19. Jh., ohne Nennung der eingesetzten Ofentypen, sowie aus einem Experiment mit einem Rundofen (in der Regel für Keramik und nicht für Ziegel eingesetzt) zu t Holz/1.000 *bessales* angegeben. Die ursprünglichen Angaben der Quellen (Arten und Mengen der eingesetzten Brennmaterialien) sowie die verwendeten Umrechnungsfaktoren (sowohl bei den Ziegeln als auch bei den Brennmaterialmengen) werden ebenso wenig genannt, wie die Rohling- und Ofenabmessungen. Die Ofenfüllungen mit bis zu

2.4 Personalbedarf

Brenner sind die Mitarbeiter mit der größten Verantwortung in der gesamten Prozesskette der Ziegelherstellung. Fehler in der Steuerung können bis zum Verlust ganzer Chargen führen.³⁴⁰ Da der Brennprozess kontinuierlich ablaufen muss und keine Unterbrechung erlaubt, ist eine ständige Anwesenheit am Brennofen – auch in den Nachtstunden – erforderlich.

Dies erfordert eine Aufteilung der Arbeitszeit der einzelnen Personen in Schichten, da kein „rund um die Uhr“-Einsatz von Mitarbeitern zu unterstellen ist.

Neben dieser Beobachtung des Brennvorganges durch den Brenner sind in der Phase des Heizens und Brennens bei den jeweiligen Steuerungsaktivitäten manuelle Tätigkeiten wie das Einbringen von Brennmaterial und das Abdichten von Luftkanälen zu bewerkstelligen. Dazu werden in der Regel zusätzliche Mitarbeiter benötigt. Insbesondere bei Erhöhungen der Brenntemperatur und während des Brennens werden große Mengen Brennmaterials an und in den Ofen bewegt.

Quellenkatalog

Schönauer 1815 <i>nH</i> , 220	„ <u>Der Brenner</u> darf sich nie vom Feuer entfernen.“
Young 1968 <i>nH</i> , 321	Mauerziegelbrennen Ende 19./Anfang 20. Jh.: <u>2 Mitarbeiter kontrollieren das Brennen</u> . („Two men usually controlled the firing.“)
DeLaine 1992 <i>AS</i> , 187	„For ease of calculation, a firing of 48 hours will be assumed.“ „Firing the kiln requires perhaps four men on duty at all times, <u>two watching the kiln</u> and fuelling the fires, the others maintaining the supply of fuel. Altogether, each firing requires 16 man-days.“

50.000 bricks liegen zudem außerhalb des hier verwendbaren Kapazitätsbereiches. Der aus den Berechnungen abgeleitete Wert 0,45 wood in t/1000 *bessales*, bezeichnet als „would appear reasonable“ ist demzufolge nicht nachvollziehbar und für Vergleiche ungeeignet.

Warry 2006, 417 „It is arbitrarily assumed that the fuel required to fire a kiln is 50 % dependent on the volume of tiles to be fired and 50 % on the surface area that has to be heated and through heat will be lost“;

Stangl 2011, 80 „Bei gebrannten Ziegeln wird je nach Qualität mit 0,25–0,65 kg Holz pro kg Ziegel gerechnet.“ Die Art des Holzes, dessen Feuchtigkeitsgehalt, der Ofentyp etc. werden nicht angegeben.

³⁴⁰ Zur Steuerung gehören insbesondere das Regeln der Temperatur im Ofeninneren durch Zugabe von Brennmaterial oder durch Verändern der Luftzufuhr. Dabei ist es u. a. notwendig, anhand der Rauchgasfarbe die jeweilige Temperatur exakt abschätzen zu können; aber auch die Mitarbeit beim Einsatz des Brenngutes in den Ofen, damit der zu erwartende Zug in den einzelnen Bereichen des Ofens eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung und somit einen homogenen Brennvorgang ermöglicht. Dies kann nur von erfahrenen Brennern geleistet werden.

In DeLaine (2001) 262 werden statt den 16 man-days (für den gleichen Ofen von 100 m³ Brennkammervolumen) 10 man-days angegeben, obwohl die Brenndauer dann mit 60 h statt 48 h angesetzt wird.

Dies würde bedeuten, dass nunmehr nur noch die Hälfte an Personal je Stunde benötigt würde.

Rechnung: bei 12 Mh/man-day Quelle 1992 (siehe Kap. 13.6.2): 16 man-days (= 196 Mh) in 48 h: 4 Mh/h d. h. 4 MA sind ständig tätig; Quelle 2001: 10 man-days (= 120 Mh) in 60 h: 2 Mh/h d. h. 2 MA sind ständig tätig.

Begründet wird dieser Unterschied nicht. Eine Angabe für die Besetzung während des Kühlens wird in beiden Quellen nicht genannt.

Schrader 1997 *gB*, 62

im 19. Jh.: „Der Holzschieber oder Kohlenjunge sorgte für den Transport des Brennstoffes. Der Brennknecht oder Brenner war zuständig für das Entzünden des Ofens, das Unterhalten und Überwachen des Feuers.“

Lage 2016 *eA*

2 Mitarbeiter regeln die Brennmaterialzufuhr und die Luftregulierung während des Brennens.

Somit kann für das Brennen in den 24 h je AT von 2 ständig anwesenden Mitarbeitern ausgegangen werden (48 Mh/AT); für die Phase des Abkühlens erscheint jedoch der Einsatz nur eines Mitarbeiters (24 Mh/AT) ausreichend, da dann nur noch Arbeiten an der Luftzufuhr und keine Brennmaterialienbringungen anfallen. Die benötigten MT je AT ergeben sich dann, wie oben genannt, in Abhängigkeit von der Anzahl Mh/MT zu 5 MT/AT und 2,4 MT/AT

3. Ofen leeren

Für eine Überschlagsrechnung kann eine Schätzung von 5 sec Dauer je Ziegel; d. h. bei Einsatz von 2 Mitarbeitern 10 Msec je Stück verwendet werden.

Das Leerräumen des Ofens nach erfolgter Abkühlung wird jedoch meist als Bestandteil des Brennprozesses (und der daran beteiligten Mitarbeiter, bzw. anderen Mitarbeitern der Ziegelei) angesprochen und bezüglich Dauer und Personalbedarf nicht explizit ausgewiesen.³⁴¹ So soll auch hier verfahren werden.

³⁴¹ Lediglich DeLaine 1997, 118 weist für 52.000 *bessales* 8 MAN-DAYS, für 9.600 *sesquipedales* und für 4.750 *bipedales* 6 MAN-DAYS aus. Eine Beschreibung der Arbeitsabläufe bzw. der Tätigkeit und die Anzahl der dabei tätigen Personen werden jedoch nicht angegeben; ebenso keine Basis, auf der die Daten gewonnen wurden. Rein rechnerisch lässt sich so aus den Angaben bei 10 Mh/MAN-DAY folgender Bedarf herleiten: *bessales*: 5,5 Msec/Stück; *sesquipedales*: 22,5 Msec/Stück; *bipedales*: 45 Msec/Stück. Da

13.2.6 Ziegel lagern und weitere Aktivitäten

Quellen zu Kap. 7.6.6 und 7.6.7

Neben den Arbeiten im Fertigwarenlager sind in einer Ziegelei weitere, hier nicht explizit aufgeführte Arbeiten auszuführen. Dies fallen oftmals nur kurzzeitig an und können nicht einzeln mit einem eigenen Zeitbedarf belegt werden. Angaben zu Zieglerteams des 18. und 19. Jhs., sogenannte Pflüge, können hierfür Orientierungswerte liefern. Der Personalbedarf wird dort oft als Relation zum Bedarf an Formern angegeben. Diese Vorgehensweise soll auch hier zum Einsatz kommen. Beispiele für den Einsatz weiterer Personen bei der Mauerziegelproduktion des 18. und 19. Jahrhunderts:

Quellenkatalog

Schaller 1828 <i>nH</i> , 44	<p>„Hier zu Lande machen drei geübte Arbeiter: ein Erd-rüster, ein Blätterstreicher und ein Former fünfzehn-hundert Hohlziegel in einem Tage ... mithin hundert Stück in jeder Stunde, wobei sie noch manche Neben-arbeit ... zu besorgen haben. Wenn also bei diesem Pflug zwei Abträger wären ...“</p> <p>Je Ziegel werden bei diesen speziellen Formen somit 2 Former 1 Lehmaufbereiter und 2 Abträger eingesetzt.</p>
------------------------------	---

die Anzahl der dabei tätigen Personen fehlt, kann die Dauer der Aktivität daraus nicht berechnet werden. Unterstellt man jedoch, dass mindestens zwei 2 Mitarbeiter nötig sind (1 Mitarbeiter alleine kann diese Arbeit nicht ausführen; er braucht mindestens einen Helfer, dem er die gebrannten Ziegel abgeben kann) ergäbe sich für das Leerräumen je *bessalis* 3,3 sec. Ein, wie es scheint, eher knapp bemessener Wert. Da gleichzeitig auch 2 Tage für das Leerräumen angegeben werden, ist eine Gegenrechnung möglich: 24 h für 52.000 *bessales* ergibt sogar nur 1,7 sec je *bessalis*. Damit sind die genannten Daten nicht eindeutig und somit nicht verwendbar.

Auch die Aussage zum Leeren des Ofens „Finally, unloading the kilns would require only about half the labour needed for loading, since the bricks are lighter in weight and less fragile, so that a greater number of items can be handled each time“ in DeLaine 1992 188 ist wenig differenziert – es werden weder die Abläufe noch die Anzahl der Beteiligten genannt – und angesichts der o. g. Uneindeutigkeiten bzw. Widersprüchen bei den Daten ebenso nicht verwendbar.

Verhältnisse in Frankreich:

- 47 „Neun bis zehntausend Ziegel (nach französischer Form) erfordern vierhundert bis vierhundert vierzig Cubikfuß oder an zwei Cubiktoisen³⁴² garen Thon. Um zwei Toisen Thon in der Art, ..., gar zu machen und in die Nähe des Formtisches zu schaffen, sind 2 Lehmtreter erforderlich, und ein Schieber, Schürzer muß die nämliche Quantität dem Former zur Hand schaffen. Ein Abtrager, ein Junge von 12–14 Jahren, ist im Stand, die fertigen Ziegel anzutragen und auf die Bahne niederzulegen. Nach genaueren Beobachtungen ist ein starker Mann fähig, in 12 Arbeitsstunden an 2 Cubiktoisen Thon, welcher sich leicht absticht, zu stechen und auf einen Schiebkarren zu schlagen, und ein gleich starker Schieber vermag an 4 Cubiktoisen 15 Toisen weit zu schieben. ... 2 Lehmtreter haben hierbei völlige Beschäftigung; da aber der Schieber nur 2 Cubiktoisen Thon 20 Toisen weit zu schieben hat, so bleibt ihm noch zu anderen Arbeiten Zeit übrig.“
- 48 „Es ist noch ein anderer Arbeiter übrig, der Aufhager, le metteur en haies, welcher die Steine auf der Bahne übernimmt, und das übrige besorgt, was zu ihrer Erhaltung und Vollendung nöthig ist.“
- 49 Der Schieber und der Aufhager müssen zusätzlich noch das erforderliche Wasser aus dem Brunnen ziehen, den Arbeitsplatz sauber halten ...

Ebenso sieht man hieraus, dass zu einem vollständigen Pflug, wenn an der Arbeit nicht gespart werden soll, sechs kraftvolle Menschen: ein Former, 2 Lehmtreter, 1 Schieber, 1 Aufhager und 1 Abtrager erforderlich sind, und dass nur auf Rechnung der Vollkommenheit der Waaren an dieser Zahl abgebrochen werden kann.“

Zu berücksichtigen ist bei dieser Personalbemessung, dass hier von einem Former je h ca. 1.200 l Lehm zu einfachen Mauerziegeln geformt wurden.

³⁴² Roon 1845, 725 1 Toise = 1,049036 m; 1 Cubiktoise = 7,40 Steres; 1 Ster = 1 Kub.-Mètre.

- 125 „Die Zieglerarbeit wird hier (Anm.: am Niederrhein) fast durchgängig von Lüttichern betrieben, welche von einem Pflugmeister angeführt werden. Ein solcher Pflug besteht, wenn er vollständig ist, aus neun Köpfen, nämlich 2 Lehmmachern, wozu der Pflugmeister gehört, 2 Lehmträgern (Weibern), 2 Formern (gleichfalls Weibern), 2 Abträgern (Jungen von 12–14 Jahren) und 1 Hagenmeister.“
- Schrader 1997 *gB*, 64 Mannschaft eines Streich- oder Formtischs (auch Pflug genannt); bei kleinem Pflug³⁴³:
 7 Personen
 1 Former
 2 Erdmacher
 1 Lehmträger
 1 Aushelfer
 2 Knaben als Abträger
- De Niel 2000 *gB*, 346 aus Abb. 6: Schachtofenbelegschaft mit 2 Formern:
 2 Aufbereiter
 1 Transporteur
 1 Vorbereiter und Ablader
 2 Former
 4 Abträger
 2 Absetzer
 4 Aufsteller
 2 Ablader
 1 weiterer Mitarbeiter („meestergast“)
 Summe: 19 Mitarbeiter
 vor dem Brennen: mehrere Anlieferer, mehrere Ablader
 Brennen: mehrere Einsetzer, Brenner, Entleerer,
 zum Abtransport: mehrere Schauer und Schiffsführer

³⁴³ 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 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.“ Die Angaben zu den „Pflügen“ enthalten i. d. R. keine Aussagen zu der Anzahl benötigter Brenner.

Die Beschreibungen dieser historischen und neuzeitlichen Ziegeleimanschaften (bei rein manuellem Ziegelmachen) mit einem sicherlich zu unterstellendem leistungsbezogenen Personaleinsatz lassen eine Personalbemessung für dem Brennen nachgelagerte Arbeiten in Höhe von 1 MT je MT eines Formers für den Bereich des Ziegellagers herleiten.

Für andere, bislang noch nicht einzeln bemessene Aktivitäten in einer Ziegelei, erfolgt ebenfalls aus den vorstehenden Quellen abgeleitet, ein pauschaler Zuschlag von geschätzten 20%. Rechnungen auf der Basis von Stückzeiten und Mengen sind dort nicht angemessen, da zu wenig verwendbare Details vorliegen.

13.3 Brennholz

Quellen zu Kap. 8

13.3.1 Bestand

Vergleich eines Buchenbestandes in Hümmel mit einem als Urwald bezeichneten Bestand Naturpark Bialowieza im Osten Polens anhand von Fotos:

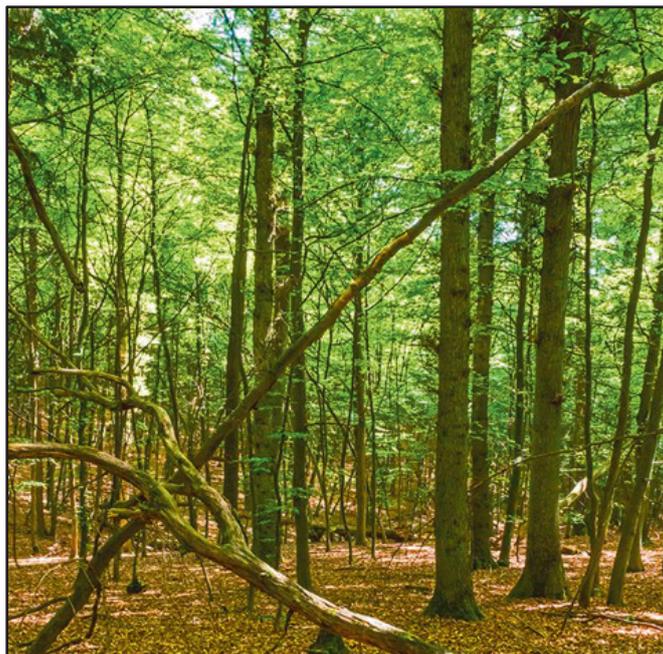


Abbildung 46 Bestand in Hümmel³⁴⁴

³⁴⁴ <<http://franzjosefadrian.com/naturwaldzellen/rheinland-pfalz/huemmel/2/>> (29.08.2017).



Abbildung 47 Bestand in Bialowieza (Urwald)³⁴⁵



Abbildung 48 Bestand in Hümmer



Abbildung 49 Bestand in Bialowieza³⁴⁶

Die Abmessungen der Bäume, die Art des Bewuchses und dessen Dichte sind sich in beiden Beständen sehr ähnlich.

³⁴⁵ <<http://www.bialowieza-info.eu/de/galerie.php>> (05.10.2017).

³⁴⁶ <<http://www.bialowieza-info.eu/de/galerie.php>> (05.10.2017).

Schwankungsbreiten und z. T. auch Unsicherheiten bei der Ermittlung von Bestandsdaten werden in folgenden Quellen deutlich:

Quellenkatalog

- Hessenmöller u. a. 2012, 4 heutige, bewirtschaftete Wälder Buche 352 Stämme/ha mittlerer Derbholzvorrat: 401 Vfm; (=1,1 fm/Stamm) anderer Wert Thüringen: 180–360 Vfm;
- Steinlin 1979, 21 stehender Holzvorrat im geschlossenen Hochwald je ha in cbm: Europa 103,5
- Darvill – McWhirr 1982, 146 „The composition and density of woodland round the kilns, varies from one part of the country to another, but a general figure of about 0.8 tons of wood (dry weight) per foot of growth per acre can be suggested from the work of Young 1978) on east coast woodland in New England, USA. Thus i a woo with a mean high of 20 feet (and a ‘natural‘ density of growth) some 16 tons of wood per acre would be available.“ Umgerechnet sind dies ca. 40 t trockenes Holz je ha. Er verwendet Daten von Hartholz aus New England in-den USA und überträgt diese auf seine Betrachtungen zum römischen Britannien.
- Henrich 2003, 46 Für 10.800 cbm Holz: 12–15 ha Wald abzuholzen → 720–900 fm/ha lt. Aussage Hrn. Hoffmann Forstamt Neuwied.
- Nenninger 2001, 181 zitiert Berechnungen von Czysz in „Die Römer in Bayern“: 11.870 fm = 370 ha Wald (keine weiteren Angaben), dies ergibt 32 fm/ha; 182: für die Berechnungen wird dann eine Holzbestandsdichte von 63–112 cbm/ha angenommen; „Doch ist der Wert der Bestandsdichte von 63–112 cbm sehr ungenau, da er aufgrund heutiger Vergleichswerte gewonnen worden ist, deren Gültigkeit für die römische Zeit nicht überprüfbar ist.“ 188: zitiert Darvill – McWhirr, merkt aber nicht an, dass es sich um Daten zu Hartholz aus den USA handelt.

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Werte liegen in Bereichen, die auch in diesen Arbeiten genannt werden. Angesichts der Unkenntnis über römische Forstwirtschaft und Wachstumsbedingungen im lokalen Kontext eines Ziegeleibefundes könnten diese Werte eventuell sogar Obergrenzen darstellen. Das Open-Source-Konzept lässt auch hier Anpassungen bei Vorhandensein präziserer Daten in einfacher Art und Weise zu.

13.3.2 Gewinnung

Zeitkalkulation für das Produzieren von Scheitholz und Reisigbündeln anhand eines Referenzbaumes:

Eigenschaften

Buche

BHD ³⁴⁷	20 cm
Höhe	18 m
Derbholz	0,29 fm ³⁴⁸ = 0,2 t
Reisig = Derbholz × 0,3	0,09 fm = 0,07 t
Höhe für Trenn- und Ablängarbeiten:	Höhe – 3 m
Länge Holzscheite	50 cm

Zeiten³⁴⁹

Fällen	10 Mmin
Entasten und Aufarbeiten	60 Mmin
Summe	1,2 Mh
Ablängen/Einschneiden auf 50 cm Stücke	10 Mmin/Stück (wie Fällen)
Anzahl: 30 ×	300 Mmin = 5 Mh

³⁴⁷ BHD Brusthöhdurchmesser.

³⁴⁸ <<http://www.forst-rast.de/pflrechner05.htm>> (15.10.2017).

³⁴⁹ Schätzungen; u. a. mit Ruppert 2016, Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik: <<http://www.kwf-online.de>> (10.05.2016).

Werkzeug für die Holzbearbeitung war ausschließlich die Axt; siehe Erler 2000; Wagner 1891, 761/2 Anordnung 1744: „daß Klafter- und Schargenholz mit der Säge geschnitten werden solle“; offensichtlich wurde die Säge üblicherweise nicht eingesetzt;

Feistmantel 1836, 10 „Die Fällung geschieht am gewöhnlichsten mit der Axt“;

Mayr-Stihl 1976, 6 „Bis ins 17. Jhd. arbeitete man im Forst nur mit der Axt. Die Säge war im Wald praktisch unbekannt.“;

Fleischer 2009, 13 „Bei der Gewinnung von Holz in Mitteleuropa und anderswo wurde jahrtausendlang nur mit der Axt gearbeitet. Obwohl seit längerem für die handwerkliche Holzbearbeitung bekannt, konnten sich die Handsägen als weitere wichtige Arbeitsmittel im Walde des deutschsprachigen Raumes in Mitteleuropa erst seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts schrittweise durchsetzen.“

Zu den Berechnungen des Zeitbedarfes siehe Tabelle 20

Trennstücke in Scheite spalten ³⁵⁰	2 Mmin je Trennstück
Anzahl \times 30	60 Mmin = 1 Mh ³⁵¹
<i>Zwischensumme Derbholz</i>	<i>7,2 Mh = 25 Mh/fm</i>
mit Zuschlägen ³⁵²	<i>33 Mh/fm</i>

Reisig bündeln

Anzahl Bündel bei 7 kg/Bündel	10 Stück
Zeit/Bündel	5 Mmin ³⁵³
<i>Zwischensumme Reisig</i>	<i>50 Mmin = 0,8 Mh = 9 Mh/fm</i>
mit Zuschlägen	<i>12 Mh/fm</i>

Ein Abgleich der verwendeten Fäll- und Abläng-/Einschneidzeit mit Daten aus dem Kölner Tableau³⁵⁴ ergibt, dass der hier verwendete Wert (Lfd. Numer 18) im mittleren Bereich der Tableau-Angaben liegt; unterhalb heutiger Äxte und oberhalb prähistorischer Geräte (Lfd. Nummern 1 – 17 aus Experimenten mit historischen Werkzeugen). Für die Vergleichbarkeit wurde eine spezifische Zeit in Mmin je cm² der durchtrennten Fläche errechnet: bei 20 cm Durchmesser und 10 Mmin sind dies 31,4 cm²/Mmin (siehe Lfd. Nummer 18).

³⁵⁰ Das Spalten erfolgte mit hoher Wahrscheinlichkeit als Längsspalten der liegenden Bäume. Dies kann am Ort der Fällung erfolgen. Die mit der Axt gefällten Bäume haben keine glatte Trennfläche, die für ein Aufstellen auf einem Klotz erforderlich wäre. Nach Mytting 2014, 117 war diese Technik beim Spalten bis in die 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts üblich.

³⁵¹ Weber 1950, 27 nennt 18–26 Mmin je rm Spalten für Scheitholz; bei 1 rm = 0,55 fm ergibt dies 33–47 Mmin je fm; ein Wertebereich in enger Nähe zu dem über die detaillierten Annahmen berechneten Wert

³⁵² 30 % nach Weber 1950, 24

³⁵³ Angabe eines aktiven Reisigbündelers (Erhebung durch den Verfasser am 25.2.2016 an seiner Arbeitsstelle im Wald in der Nähe von Rheinbach).

³⁵⁴ Kerig 2017.

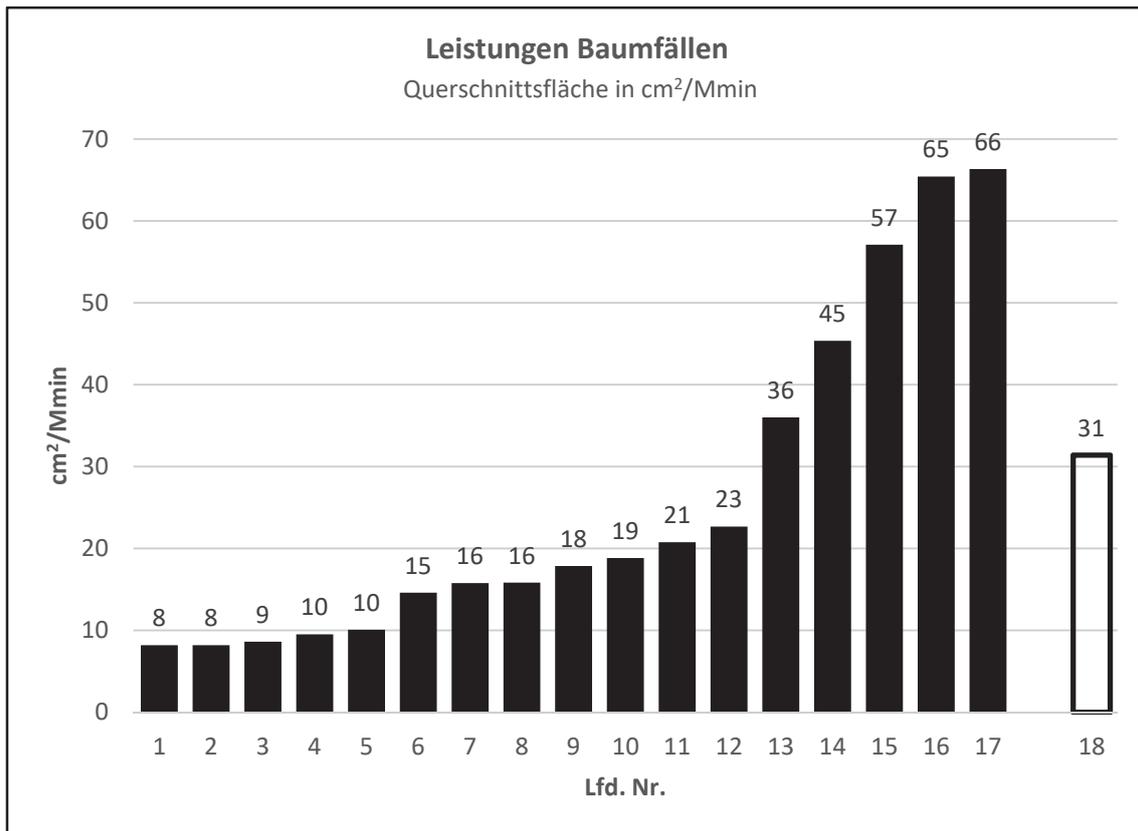


Abbildung 50 Auswertung Kölner Tableau

Tabelle hierzu:

Lfd. Nr.	ID	Durchm cm	Fläche berechnet	Zeit min	cm ² /min	Werkzeug	Baumart
1	1395	25cm Mittel 1000 Stück	490.625	1000 h	8,2	vermutl. Axt	?
2	1396	50cm Mittel 250 Stück	490.625	1000 h	8,2	vermutl. Axt	?
3	2304	11	95	11	8,6	Steinbeil Flintbeil	?
4	228	29,972	705	74	9,5	Ozeanien?	?
5	229	39,116	1.201	119	10,1	Ozeanien?	?
6	226	23,622	438	30	14,6	Ozeanien?	?
7	227	28,702	647	41	15,8	Ozeanien?	?
8	1177	11	95	6	15,8	?	Ahorn
9	1197	32	804	45	17,9	Steinaxt	Erle
10	2305	18	254	13,5	18,8	Steinbeil Flintbeil	
11	707	23	415	20	20,8		Eiche
12	1207	34	907	40	22,7	Steinaxt	Birke
13	914	17	227	6,3	36,0	Stahlaxt	Birke
14	29	17	227	5	45,4	Steinbeil Flintbeil	Fichte
15	3330	20	314	5,5	57,1	Dechsel	?
16	1780	50	1.963	30	65,4	Eisenzeit Axt	?
17	1379	13	133	2	66,3	modernes Breitbeil	
18	Referenzbaum	20	314	10	31,4		Buche

Tabelle 19 Auszug aus dem Kölner Tableau

Die mit dieser Vorgehensweise und mit den dabei getroffenen Annahmen gewonnenen Daten wurden in einem Rechenblatt nach dem o. a. Schema für den „Referenzbaum“ auch für Betrachtungen für Bäume anderer Dicken herangezogen, um für die Bäume in den vorliegenden Beständen Betrachtungen zum Arbeitsaufwand bei Totalrodungen ermitteln zu können:

Zeitbedarf für das Fällen und Aufarbeiten - Holzart Buche										
Brusthöhendurchmesser 20 cm - Höhe 18 m										
50 cm lange Holzscheite und 7 kg schwere Reisigbündel										
		vom Referenzbaum abgeleitet					"Referenzbaum"	vom Referenzbaum abgeleitet		
		Bestand 1	Teil von Bestand 3		Bestand 2 ohne Spalten in Scheite	B 2 mit Spalten in Scheite			Teil von Bestand 3	
BHD cm		4,3	10	10	14,6	14,6	20	26	50	
Höhe m		6,7	5	8	17,9	17,9	18	18	20	
fm Derbholz*		0,01	0,02	0,03	0,16	0,16	0,29	0,5	2,0	
fm Reisig = Derbholz * 0,3		0,003	0,006	0,009	0,05	0,05	0,09	0,15	0,60	
mittlerer Durchm cm		2	5	5	10	10	14	18	35	
oben:					5	5	8	10	20	
unten (=BHD)		6	13	13	19	19	20	26	50	
mittlere Trennfläche cm ²		4	20	20	75	75	154	254	962	
Faktor Trennfläche Relation zu Musterbaum		0,02	0,1	0,1	0,5	0,5	1,0	1,7	6,3	
Höhe für Trenn- und Spaltarbeiten = Höhe - 3m		4	2	5	15	15	15	15	17	
Länge Holzscheite cm	50									
to Derbholz trocken = fm x 0,78		0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	1,6	
to Reisig trocken = fm x 0,78		0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,07	0,11	0,47	
to ges		0,01	0,02	0,03	0,16	0,16	0,29	0,5	2,0	
Stamm/Derbholz: Fällen + Aufarbeiten - Werkzeug: Axt										
fällen	Zeit Mmin gesetzt	0,5	2	2	5	5	10	17	63	
	Mh	0,01	0,03	0,03	0,08	0,08	0,2	0,3	1,0	
entasten + aufarbeiten für Reisig	Zeit Mmin gesetzt	5	10	10	30	30	60	99	375	
	Mh	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	1,0	1,7	6,3	
Fällen + Aufarb. gesamt	Mh	0,1	0,2	0,2	0,6	0,6	1,2	1,9	7,3	
	Mh/fm	9,2	10,0	6,7	3,6	3,6	4,0	3,9	3,6	
Ablängen auf cm										
	50									
Trennungen	Anzahl	7	4	10	30	30	30	30	34	
je Trennung	Zeit Mmin	0,50	2	2	5	5	10	17	63	
Zeit ges	Mmin	4	8	20	149	149	300	496	2.125	
	Mh	0,1	0,1	0,3	2	2	5	8	35	
	Mh/fm	6	7	11	16	16	17	17	18	
Trennstücke in Scheite spalten										
je Trennstück	Zeit Mmin gesetzt					2	2	3	13	
Trennstücke	Anzahl					30	30	30	34	
gesamt	Mmin					60	60	99	425	
	Mh					1,0	1	2	7	
	Mh/fm					6	3	3	4	
Zwischensumme Derbholz										
mit Fällen + Entasten + Spalten	Mh	0,2	0,3	0,5	3,1	4,1	7	12	50	
	Mh/fm	15	17	18	19	25	25	24	25	
Reisig bündeln										
Anzahl Bündel bei 7 kg/Bündel		0	1	1	5	5	10	16	67	
Zeit/Bündel Mmin	5									
Zweige/Aststücke bündeln	Mh	0,0	0,1	0,1	0,4	0,4	0,8	1,4	5,6	
	Mh/fm	9	9	9	9	9	9	9	9	
Summe										
Derbholz + Reisig	Mh	0,2	0,4	1	4	5	8	13	55	

* <http://www.forst-rast.de/pflrechner05.html>

Tabelle 20 Berechnung Zeitbedarf je fm je Referenzbaum und Bäume mit anderen Durchmessern

Daraus ergeben sich für Kahlschlag der Bestände je ha

Bestand 1: 162 MT

Bestand 2: 489 – 627 MT (je nach Aufbereitungsart – ungespalten/gespalten)

Bestand 3: 1.097 MT

		vom Referenzbaum abgeleitet					"Referenzbaum"	vom Referenzbaum	
		Bestand 1	Teil von Bestand 3		Bestand 2 ohne Spalten in Scheite	B 2 mit Spalten in Scheite			Teil von Bestand 3
BHD cm		4,3	10	10	14,6	14,6	20	26	50
Höhe m		6,7	5	8	17,9	17,9	18	18	20
Kahlschlag in den ausgewählten Beständen - Angaben je ha									
	Bestand		Bestand 1	Teil von Bestand 3		Bestand 2	B 2 mit Scheite spalten		Teil von Bestand 3
	Anzahl Bäume/ha		8.952	300		1.392	1.392		196
	Derbholz + Reisig	Mh/ha	1.622	117		4.889	6.272		10.851
		MT/ha	162	12		489	627		1.085
	Derbholz	Vfm/ha	90	6		223	223		31
	Reisig	Vfm/ha	27	2		67	67		118
	Summe	Vfm/ha	116	8		290	290		149
	Derbholz	to/ha	70	5		174	174		24
	Reisig	to/ha	21	1		52	52		92
	Summe	to/ha	91	6		226	226		116

Tabelle 21 Personalbedarf bei Totalrodung je ha und Bestände

Unter Berücksichtigung der Zuschläge (nach Weber 1950 und für die „Schwierigkeitskonstanten“ nach Häberle 1967):

Bestand 1: 422 MT

Bestand 2: 1.272 – 1.632 MT

Bestand 3: 2.852 MT

Beispiele für die Darstellung der einzelnen Aktivitäten bei der Herstellung von Scheitholz:

Quellenkatalog

Müller-Thomas 1941 Das Rücken (auf der Schulter) wird als als die schwerste Arbeit bei der Gewinnung von Scheitholz genannt; Zeitbedarf von 28 Mmin für das Rücken von 1 rm Scheitholz bei 75 m Weglänge.³⁵⁵

³⁵⁵ Bei der verwendeten Relation $rm/fm = 0,55$ ergibt sich hieraus ca. 1 Mh je fm für 75 m händisches Rücken bei einem Waldwegenetz im 20. Jh. in Mitteleuropa; für die Antike ist eine vergleichbare Wegedichte nicht zu unterstellen, wodurch sich insbesondere der Wert für die Transportentfernung sicherlich vervielfachen, und der Betrag für das Rücken je fm beträchtlich erhöhen dürfte. Im vorliegenden Modell werden diese Effekte als durch die Verdoppelung berücksichtigt angesehen und nicht berücksichtigt.

- Weber 1950 *nH*, 17f „Hiebsanweisung für Buchenbaum- und -stangenholz
- Rottenstärke: 2 Mann: Arbeiter A und B
- Arbeitsverfahren: Rüsten zur Arbeit, Stapel- und Feuerplatz aussuchen, Geräte und Kleidungsstücke, soweit überflüssig, ablegen
- Erster Arbeitsgang: Fällen, entästen, vermessen, einschneiden
1. A und B Stamm aufsuchen, Fallrichtung bestimmen, Geräte bis auf die Äxte auf der anderen Seite des Stammes niederlegen.
 2. A und B Stamm frei machen, im Takt Wurzelanläufe senkrecht und möglichst tief abbeilen.
 3. A und B im Takt (im Stangenholz: wenn nötig) Fallkerb hauen.
 4. A und B Stamm knieend vorwärts absägen (Zugsäge), ...
 5. A und B, wenn notwendig, Stamm mit Wendehaken zu Fall bringen.
 6. A und B gleich Waldhieb abschneiden, ...
 7. A vermessen bis zur Derbholzgrenze der Äste, ... Klebäste entfernen ... B ... vom Kronenansatz an aufwärts entästen und Krone auseinander hauen.
 8. A und B von der Derbholzgrenze abwärts ... Brennholz und Schichtnutzholz in handliche, tragbare Stücke ... sowie Stammholz einschneiden ... Stamm einschneiden.
 9. B allzu schwere Stücke spalten ...
 10. A und B Geräte aufnehmen, nächsten Baum aufsuchen
 11. A und B Geräte am Stapelplatz niederlegen, wenn eine Reihe von Stämmen gefällt ist.
- Zweiter Arbeitsgang: Rücken und Arbeit am Stapelplatz
12. A Schichtholzbänke zum Setzen vorbereiten, Pfähle herbeitragen, spalten, anspitzen und nach Bedarf einschlagen, Unterlagenherbeitragen und legen, Astanker herbeitragen und zurichten. B (und A) Schichtholz zum Stapelplatz tragen. Schichtnutzholz, falls notwendig, nächsten, sortenweise einschichten.
 13. B (oder A) Scheitholz spalten.
 14. A (oder B, oder A und B) Schichtholz in schrägen Lagen setzen, restliche Pfähle einschlagen.

Hiebsanweisung für Buchenreiserholz

Rottenstärke: 1 Mann Arbeiter A

Arbeitsverfahren: Rüsten zur Arbeit, Stapelplätze und Feuerstelle aufsuchen ...

Erster Arbeitsgang: Fällen und notfalls einschneiden.

1. A Stämmchen aufsuchen, umhauen ...

(2. A stärkere Stämmchen mit der Bügelsäge .. umsägen, niederziehen, auf den Bock legen, das Derbholz in Meterlängen vermessen und in handliche Stücke zersägen.)

3. A nächstes Stämmchen aufsuchen.usw.

4. A Geräte am Stapelplatz niederlegen, wenn genügend Stämmchen gefällt sind.

Zweiter Arbeitsgang:

5. A Reisighaufen und Schichtholzbänke zum Setzen vorbereiten, Pfähle herbeitragen, anspitzen und ... einschlagen ... Astanker herbeitragen und zurichten.

6. A Stämmchen und Derbholzstücke zum Stapelplatz ziehen und tragen, langes Reiserholz auseinanderhauen und einschichten, etwa aufzuarbeitende Reiserknüppel in Meterlängen mit leichtem Beil auf Hauklotz einhauen und einschichten.

7. A Derbholz auf dem Bock in Meterlängen zersägen.

(8. A etwa vorkommende Scheite spalten.)

9. A Derbholz einschichten, restliche Pfähle einschlagen ...“

Auch wenn hier bei einigen Arbeiten Sägen eingesetzt werden (die ohne Sägen mit Beilen oder Äxten auszuführen sind), so werden die vielen Aktivitäten deutlich, die zusätzlich zu dem Trennen und Spalten vom Baumfällen bis zum Scheitholz und Reisig anfallen. Außerdem ist das Bündeln des Reisigs darin noch nicht enthalten. Das Muster für eine Leistungsberechnung in der Waldarbeit liefert die nachfolgende Tabelle:

zu „Waldarbeit“	25							Anhang 4
Derbholzmasse des Mittelstammes in fm m. R. (stehend aus Brusthöhendurchmesser und Höhe nach Massentafel)								
	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	
Fichte, Tanne:								
Stamm aufsuchen		3	3	2	2	2	2	
Fallrichtung bestimmen, Stamm frei machen		4	3	3	2	1	1	
Fallkerb hauen		12	10	9	8	8	8	
Umsägen, Keilen, zu Fall bringen		24	18	13	10	9	9	
Entästen		29	25	21	18	15	15	
Vorarbeit:		72	59	48	40	35	35	
Hauptarbeit:		13	10	8	7	6	5	
Sortenzeit:		85	69	56	47	41	40	
Buche:								
Stamm aufsuchen	5	3	2	1	1	1	—	
Fallrichtung bestimmen, Stamm frei machen	4	3	2	2	2	1	1	
Fallkerb hauen	13	11	10	10	11	12	14	
Umsägen, Keilen, zu Fall bringen	32	20	16	14	12	11	10	
Entästen	10	10	10	10	11	11	11	
Vorarbeit:	64	47	40	37	37	36	36	
Hauptarbeit:	—	—	—	29	26	26	27	

Abbildung 51 Zeitentabelle für das Gewinnen von Buchenholzstämmen (Weber 1950)

Darin: Buche mit 0,3 fm Derbholzmasse des Mittelstammes:

Stamm aufsuchen 3 + Fallrichtung bestimmen, Stamm frei machen 3 + Fallkerb hauen 11 + Umsägen³⁵⁶, Keilen, zu Fall bringen 20 + Entästen 10 = 47 Min

Bei Einsatz von 2 Mitarbeitern (Rotte) sind dies 94 Mmin³⁵⁷

24 „Die Tafeln enthalten reine Arbeitszeiten. Als Ausgleich für Schwankungen, Rüstzeiten und Verlustzeiten sind diese Zeiten unter normalen Umständen um 10 – 30%, im Mittel um 20% zu erhöhen.“

Gläser 1960 nH, 155 Das Schema (verwendet zur Gewinnung von Vorgabezeiten durch Messen und Schätzen realer Abläufe; daraus wird die Entlohnung abgeleitet) enthält alle

³⁵⁶ mit manueller Zugsäge.

³⁵⁷ Die Zeitangaben gelten für einen Baum mit 0,3 fm Derbholzmasse aus dem Mittelstamm – und nicht aus dem gesamten Baum einschließlich der Krone, wie bei obiger Kalkulation. Demnach hat der hier betrachtete Baum vermutlich in Höhe der Fällkerbe einen größeren Durchmesser als der in der o. g. Kalkulation verwendete; der höhere Zeitwert erscheint somit (trotz Einsatz einer Säge) plausibel. Außerdem bringt in diesem Falle der Einsatz einer Säge keinen wesentlich anderen Zeitbedarf als der Einsatz von Äxten.

zur Produktion von Scheitholz anfallenden Arbeiten, wie sie in vereinfachter Form in der obigen Kalkulation verwendet wurden:

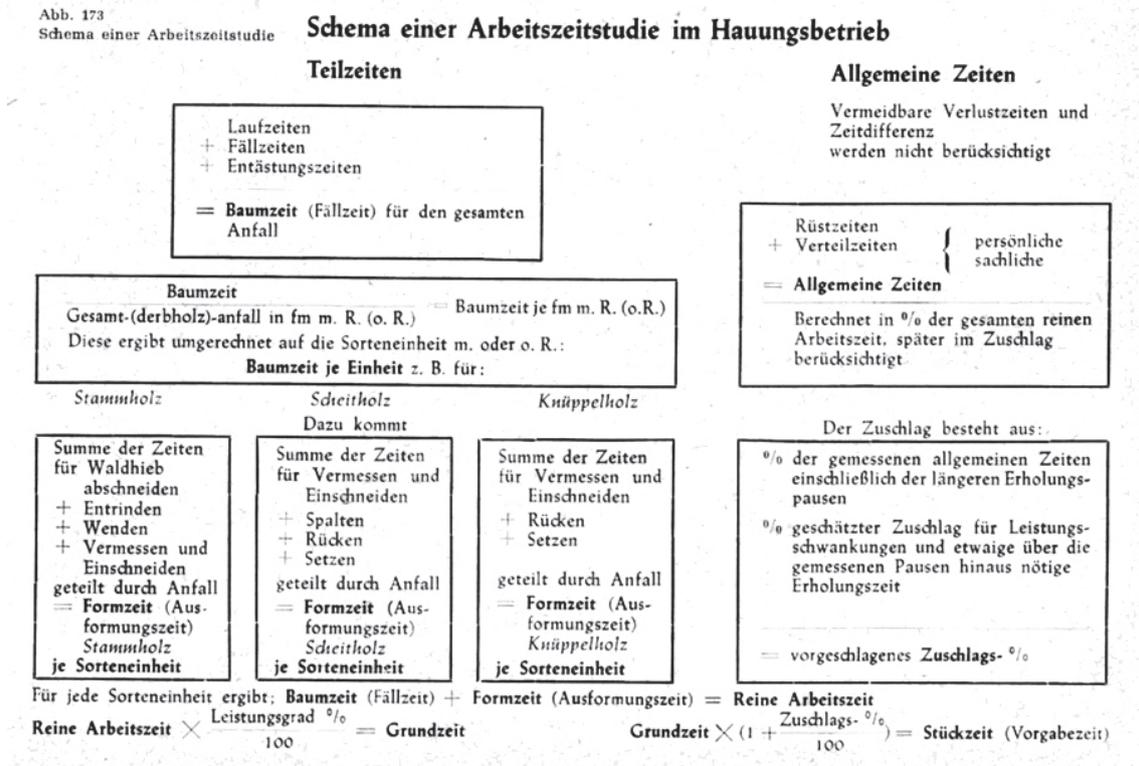


Abbildung 52 Schema einer Arbeitszeitstudie (Gläser 1960)

Aktivitäten, die bei der Ermittlung der reinen Arbeitszeit zur Erzeugung von Scheitholz mindestens zu berücksichtigen sind, sind somit:

- Fällen
- Entästen
- Einschneiden (hier mit der Säge; in der Antike mit der Axt)
- Spalten
- Rücken
- Setzen

Auch hier wird ein Zuschlag zu den ermittelten Zeiten gewährt.

Weitere Quellen zur Holzwirtschaft, die das hier gewählte Verfahren ergänzen bzw. untermauern:

Killian 1982 *gB*, 38 „Vom Neolithikum bis herauf in das 19. Jahrhundert wurde die Fällung der Bäume ausschließlich mit Äxten durchgeführt.“

Hafner 1982 *nH*, 49 „Die Verfahren der Rückung sind durchweg Landtransport. Bei Brennholz und kleineren Nutzhölzern fand über kurze Strecken seit altersher Tragen durch Menschen statt.“

Erler 2000 *nH*, 27 Bearbeitungsschritte:

„Fällen = Stamm wird von der Wurzel getrennt; falls der Baum nicht alleine umfällt, wird er auch noch zu Fall gebracht

Entasten = vom liegenden Stamm werden bis zur Aufarbeitungsgrenze die Äste abgetrennt. Die Aufarbeitungsgrenze befindet sich an der Stelle, an der der Stamm einen vorher festgelegten Durchmesser unterschreitet. An dieser Stelle wird die restliche Krone, der „Zopf“ abgetrennt.

Ausformen = Der entastete Stamm wird zu verkaufsfähigen Sortimenten aufgearbeitet. Hierbei können unterschiedliche Handlungen notwendig werden wie Vermessen, Sortieren, Einschneiden, Anlegen eines Mittenringes ... Unter technologischem Blickwinkel zeichnet sich das Ausformen aber dadurch aus, dass der Stamm quer zur Stammachse durchtrennt wird.

Entrinden = Die Rinde wird im Bereich des Cambiums vom Holz gelöst

Spalten = Das Holz wird entlang der Faser aufgetrennt

Hacken = Das Holz wird quer zur Faserrichtung in kleine Hackschnitzel getrennt, um so ein homogenes Schüttgut zu erhalten.

53 Sofern nach dem Fällen mehrere Teilvorgänge durchgeführt werden, werden diese zusammenfassend auch als Aufarbeiten bezeichnet.“

54 „Während in früheren Zeiten Bäume ausschließlich mit der Axt gefällt wurden, hat diese Methode in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts an Bedeutung verloren.“

59 „Mit ‚Spalten‘ bezeichnet man einen Vorgang des Zerteilens, bei dem ein stumpfer Keil so in ein Werkstück hineingetrieben wird, dass sich dieses zerlegt. Holz lässt sich besonders leicht in Faserrichtung spalten,“

- 61 „Sobald am Arbeitsort ein Produkt erzeugt worden ist, ..., muss es als erstes die Strecke bis zur nächsten Erschließungsanlage auf dem natürlichen Waldboden zurücklegen; Es muss vorgerückt werden.“
- 63 „Rücken = Fördervorgang bis an einen verkehrstechnisch zugänglichen Umschlagplatz“
- Nies u. a. 2008
gB, 41 „Zu den Aufgaben der Holzfäller gehörte neben dem Holzeinschlag auch das Entasten, Ablängen und der Transport des Holzes auf den Abfuhrwegen“

13.4 Transporte

Quellen zu Kap. 9

13.4.1 Allgemeines

Die Aufteilung der im Umfeld einer Ziegelei anfallenden Transporte in interne und externe Aktivitäten läßt ein unterschiedliches Vorgehen zur Ermittlung des zugehörigen Ressourcenbedarfes sinnvoll erscheinen: Werden die sehr verschiedenartigen internen Transporte vermutlich von Personen der Ziegelei durchgeführt, so sind für externe Transporte eher ziegeleiunabhängige Transporteure, wie beispielsweise Händler und Brennstofflieferanten tätig. Bei den internen Transporten ist außerdem wegen der Vielfalt und Unterschiedlichkeit der einzelnen Transportvorgänge ein anderes Vorgehen bei der Quantifizierung angemessen als bei den externen. Interne Transporte sind u. a. Zuarbeiten zum Formen bzw. Arbeiten zur Ofenbefüllung und zum Abtransport und das Handling der fertigen Stücke im Fertigwarenlager. In neuzeitlichen Handziegeleien werden diesen Funktionen Mitarbeiter zugeordnet – und Funktionsbezeichnungen, wie z. B. Abträger, verwendet. Die Bemessung des hierfür benötigten Personals erfolgt in Abhängigkeit – bzw. in Zuordnung – zur Anzahl tätiger Former. Dies wurde auch in der vorliegenden Arbeit so gehandhabt.

Für externe Transporte erfolgt die Quantifizierung dagegen auf der Basis von Entfernungen, Kapazitäten einzelner Transportmittel und deren Transportgeschwindigkeiten. Die Geschwindigkeiten hängen dabei sehr stark von Art und Qualität des Transportweges ab: Steigungen und schlechte Wegstrecke reduzieren beispielsweise die für flache feste Wege anzunehmenden Werte.³⁵⁸

³⁵⁸ Zudem erschweren in den Quellen z. T. fehlende Definitionen und Abgrenzungen die Verwendbarkeit von Angaben. Außerdem ist ungeprüftes Übernehmen publizierter Werte bzw. das Verknüpfen solcher Werte zu neuen Werten zu beobachten. Aus diesem Grunde wurde versucht, die Quellen von Zitaten zu

13.4.2 Intern

Quellenkatalog

Schaller 1828 <i>nH</i> , 44	<u>1 Abträger je Former</u> für eine Ziegelei zu Beginn des 19. Jhs.
125	sog. Lütticher Pflug (Zieglerteam) hat <u>1 Lehmträger und 1 Abtrager je Former</u>
Ebert – Vogtmeier 1980 <i>gB</i> , 28	Einsatz von <u>1 „Karrenmann“</u> und 1 „Junge“ (Zuarbeiter im Team der Wanderziegler im 19. Jh.)
McWhirr 1984 <i>MS</i> , 60	Team von Zuarbeitern für Tonzulieferung und Ziegelabtransport ³⁵⁹ (abgeleitet von der Ziegelherstellung im 19. Jh. mit 1.500 hergestellten Ziegeln je Tag und Former)
Schrader 1997 <i>gB</i> , 62	Karrenmann, Lehmträger, kleiner Junge oder Abträger, Zuführer (Bezeichnungen für Transportarbeitskräfte im 19. Jh.)
De Niel 2000 <i>gB</i> , 63	<u>1 Lehmtransporteur, 4 Abträger, mehrere Anlieferer und Belader je 2 Former</u> einer Ziegelei im 19. Jh. (siehe Abb. 6)
Shirley 2001 <i>MS</i> , 114	Innerhalb des Lagers sind händische Transporte am wahrscheinlichsten, da am wenigsten Gerätschaften und Vorbereitungen nötig; einfach und flexibel zu bewerkstelligen ³⁶⁰ –Beispiel: 10 m ³ Schotter: händisch: 25 kg Körbe (Annahme in einem Modell zur Errichtung des römischen Lagers Inchtuthil)

Für die Quantifizierungen wurde in Anlehnung an diese Quellen eine vereinfachte Vorgehensweise angewendet: Der Antransport des aufbereiteten Lehms erfolgt durch den/die Lehmaufbereiter; es erfolgt kein separater Ausweis. Dies wird auch für den Abtransport der Fertigware zum Lagerplatz unterstellt; dort übernehmen der/die Mitarbeiter für den Lagerplatz diese Tätigkeiten. Für die Transporte der Rohlinge zum Trockenplatz sowie von dort zum Ofen wird dagegen jeweils ein Mitarbeiter pro Formerplatz eingesetzt.

recherchieren und diese bezüglich einer Verwendung zu bewerten. Dabei erwiesen sich einige Quellen als unbrauchbar; u. a. Warry 2006, 121.

³⁵⁹ „... a team of workers to supply the moulder with clay and remove the bricks ...“

³⁶⁰ „While the inherent flexibility of man-carrying makes it the most likely way of moving materials on site,“

13.4.3 Extern

Angaben in:

- a) Menge in kg oder m³ (bzw. l)
- b) Geschwindigkeit km/h
- c) Verkehrsleistung VL

Die Angaben sind nach Arten der Transportmittel sortiert

Quellenkatalog

Mitarbeiter manuell:

- Pegoretti 1863 *nH*, 61
- a) 66 2/3 kg
 - b) 18 km in 10 h = 1,8 km/h
 - c) daraus berechnet VL = 0,12 t*km/h
- Landels 1978 *gB*, 171
- a) Transport durch Menschen: bei Distanzen > 40–50 yards: 23–27 kg
- White 1984 *gB*, 127
- a) „A porter can not cope with loads exceeding about 25 kg (55 lb) (except over a short distance), which is less than a quarter of what an average-sized panniered mule could manage,“
- 129 „Man with head load max. 50 lb (24 kg); Man with backload max 100 lb (48 kg); Shoulder load, e. g. Nigerian water carrier 80 lb (36 kg); European soldier’s pack 50 lb (24 kg)“
- DeLaine 1997 *MS*, 107
- a) „He can carry a maximum load of c. 50 kg.“³⁶¹
- 98 b) Arten von Transport: Esel, Mulis + Menschen mit Last zu Fuß: ca. 5 km/h³⁶²
- c) daraus berechnet VL = 0,25 t*km/h
- Shirley 2000 *MS*, 145
- a) „Nevertheless, a load of 50 kg for welltrained, fit and experienced man is not implausible“
- Seele 2012 *MS*, 153
- a) Abtransport (geformter Ziegel) keine Kette, sondern jeder trägt sein Quantum: Erwachsene 10 Ziegel (40 kg), Kinder 5 Ziegel (20 kg) (zeitgenössisch Mexiko)

³⁶¹ Bewusst geringer angenommen als Pegoretti 1863 mit 66 2/3 kg; für längere Entfernungen wird der Einsatz von Tieren für Transporte unterstellt.

³⁶² „Donkeys and mules are sure-footed and adaptable to most terrains, and travel at about the same speed as a laden man (roughly 5 km per hour).“

Mitarbeiter mit Beutel/Korb o. ä.:

- Rea 1902 *nH*, 34 a) 1 basket 1/21 cubicyards (1 cubicyard = 766 l; 1 basket = 36 l) (Katalog für die Preisermittlung Anfang 20. Jh.)
- DeLaine 1997 *MS*, 107 1a) Tragegefäße: Körbe, Säcke, halbierte Amphoren – 19 Jh. Bauhandwerkerkörbe: Kapazität. 0,03 m³–Annahme: röm. Körbe: 0,026 m³ = 1 röm Kubikfuß – für längere Distanzen: Tiere eingesetzt³⁶³
- 98 b) Arten von Transport: Esel, Mulis + Menschen mit Last zu Fuß: ca. 5 km/h – (Annahme)
- c) daraus berechnet VL = 0,13 m³*km/h
- Shirley 2001 *MS*, 82 a) und b) „Work-rates for excavating gravel are based on those for earth-moving (72 baskets per m³; and moving baskets at 1.3 seconds per metre“ (14 l je basket; 1,3 sec/m = 2,7 km/h) (Annahmen für das erstellte Modell)
- c) daraus abgeleitet: bei 2 kg/l Lehm 28 kg je basket; VL = 0,076 t*km/h

Mitarbeiter mit Karre/Schubkarre/Wagen o. ä.:³⁶⁴

- Duhamel du Monceau u. a. 1765 *nH*, 176 c) „... ein anderer (in 12 h)³⁶⁵: 4 cubik-Klafter³⁶⁶ 14–15 Klaf-ter weit transportieren“
daraus berechnet VL = 0,05 m³*km/h³⁶⁷ (Ziegelherstellung 18. Jh.)
- Lorey 1887 *nH*, 366 a) Schubkarre 50 l bis 100 m Transportweg
Handkarre 0,24–0,3 m³ bis 250 m (Forstwirtschaft)
- Rea 1902 *nH*, 34 a) wheelbarrow 1/10 cubicyard (76 l)

³⁶³ „It appears that loose material was carried by mne in baskets,.. or in sacks, or sometimes in halve amphorae or the like; there is no evidence that the Romans used wheelbarrows. Builders baskets in the 19th century usually ha a capacity of one bushel (c.0.03 m³), and I have assumed that the Roman equivalent was a 2-moddius basket with a capacity of roughly 1 cubic roman foot (0.026 m³). For longer istances and larger loads on land, men give way to pack and draft animals.“

³⁶⁴ Schubkarren werden hier im Rahmen einer Übersicht zu Transportarten – und zum Vergleich mit händischen Transporten – aufgenommen. Nachweise in Befunden liegen hierzu nicht vor.

³⁶⁵ Enthält vermutlich auch Pausen.

³⁶⁶ <<http://www.wikiwand.com/de/Klafter>>: 1 Klafter = 1,8 m; 1 cubik-Klafter = 5,8 m³.

³⁶⁷ incl. Rückfahrt.

- DeLaine 2001 *MS*, 262 a) und b) „Load and carry“ 93 m³ in 250 m Entfernung in 59 „Unskilled mdays“ mit je 10 h (Annahme)
c) daraus berechnet VL = 0,04 m³*km/h mit Be- und Entladen; keine Angabe, ob mit Körben oder Karren

Tiere ohne Karren o. ä.:
Pferd ohne Karren

- Pegoretti 1863 *nH*, 19 c) in der Ebene: Mittelwert VL 0,4 t*km/h³⁶⁸
im Gebirge: Mittelwert VL 0,2 t*km/h³⁶⁹
- White 1984 *gB*, 129 a) „Horse with panniers 400 lb (182 kg)“
- Tilbur 2007 *gB*, 72 a) horse 182 kg
- Raepsaet 2008 *gB*, 589 a) „Horse walking 100 – 120 kg; at a trot 80 kg“
b) „walking 4 km/h; at a trot 8 km/h“
c) gehend: 0,4–0,48 t*km/h; Trab: 0,6 t*km/h (588 aus Verhältnissen im 19. Jh. und einigen Teilen der Welt bis heute; für Antike angenommen)
- waldwissen.net *nH* a) Rückepferde: „Beim Pferdezug ist das Gewicht und die Bodenreibung, nicht Länge und Durchmesser der Last, entscheidend. Ein Pferd sollte beim einspännigen Zug auf Dauer nicht mehr als 20 % seines eigenen Körpergewichts ziehen. Dies bedeutet, dass ein 800 kg schweres Pferd auf Dauer nicht mehr als 200 kg (ungef. 0,3 Fm) im Lastzug rücken sollte. Kurzfristig können weitaus schwerere Lasten gezogen werden.“³⁷⁰

Esel ohne Karren

- Landels 1978 *gB*, 172 a) donkey: ca. 54 kg
- Shirley 2001 *MS*, 115 a) donkey 70 kg
116 b) donkey 4 km/h
c) daraus berechnet VL = 0,28 t*km/h³⁷¹
- White 1984 *gB*, 129 a) „Donkey with panniers 150 lb and even 200 lb (70 – 90 kg)“

³⁶⁸ („cavallo caricato a schiena in strade di pianura – Effeto dinamoco in tonnelate per chiometro; Parziale per ogni besto“: 3,97 (Mittelwert)); bei 10h/Tag ergeben sich daraus 0,4 t*km/h. Vermutl. mit Be-u. Entladen.

³⁶⁹ a. a. O. aus Mittelwert 2,30 berechnet.

³⁷⁰ <<http://www.waldwissen.net/technik>> (16.02.2018).

³⁷¹ Shirley 2000, 145 ebenfalls VL = 0,3 t*km/h.

- DeLaine 1997 *MS*, 108 a) 55 kg „for a small donkey“
 98 b) Esel, Mulis + Menschen mit Last zu Fuß: ca. 5 km/h
 c) daraus berechnet VL = 0,275 t*km/h
- Raepsaet 2008 *gB*, 589 a) „British Army Ass 80 – 100 kg“
- Muli ohne Karren
- Pegoretti 1863 *nH*, 19 c) in der Ebene: Mittelwerte VL 0,6 t*km/h; im Gebirge: Mittelwert VL 0,4 t*km/h³⁷²
- Kendal 1966 *gB*, 143 a) pack-mules could carry up to 100 kgs in panniers
 b) 4.5 mph (7 km/h)
 c) daraus berechnet VL = 0,7 t*km/h
- White 1984 *gB*, 129 a) „Mule with panniers 300 lb (136 kg)“
- Landels 1978 *gB*, 172 a) 90–122 kg/Tier je nach Größe (Britische Armee in Weltkrieg 1)
 b) etwas über 3 miles/h à ca. 5 km/h
 c) daraus berechnet VL = 0,45 – 0,61 t*km/h
- DeLaine 1997 *MS*, 108 a) 120–135 kg „for a large mule“
 98 b) Esel, Mulis + Menschen mit Last zu Fuß: ca. 5 km/h
 120 Esel und Maultiere ca. 5 km/h
 c) daraus berechnet VL = 0,6 – 0,675 t*km/h
- Shirley 2001 *MS*, 114 a) pack-mule 140 kg
 116 b) mule 6 km/h
 c) daraus berechnet VL = 0,84 t*km/h³⁷³
- Tilbur 2007 *gB*, 72 a) mule 136 kg
- Raepsaet 2008 *gB*, 589 a) „European Mule 150 – 180 kg“
 b) 3–5 km/h
 c) 0,45–0,9 t*km/h
 a) „European Army Mule 70–80 kg“

³⁷² Datenberechnung wie oben; vermutl. mit Be-u. Entladen.

³⁷³ Shirley 2000, 145 ebenfalls VL = 0,84 t*km/h.

Ochse ohne Karren

White 1984 *gB*, 129 a) „Bullock 400 lb (182 kg)“

Tilbur 2007 *gB*, 72 a) Ox 182 kg

Tiere mit Karren o. ä.³⁷⁴:

Karren allg.

Rea 1902 *nH*, 34 a) „An ordinary one-horse cart, 6 ft. long by 3 ¼ ft. wide by 2 ½ ft. deep will hold 45 cubic feet“ 1,3 m³ (Ende 19. Jh.)

Graser 1940 edict *aA*, 368 a) Ladung Karre 1200 pounds = 390 kg³⁷⁵

Kendal 1966 *gB*, 142 a) Cart (*vereda/carrus*) 600 Roman pounds (200 kgs)³⁷⁶ A smaller four-wheeled vehicle drawn by 4/6 mules or horses

143 b) Cart 4.5 mph (7.0 kph)

c) daraus berechnet VL = 1,4 t*km/h

142 a) 2-wheeler (*birota*) 200 Roman pounds (65 kgs)³⁷⁷ A small two-wheeled vehicle drawn by 2/4 mules.

143 b) 2-wheeler 5 mph (8.0 kph)

c) daraus berechnet VL = 0,52 t*km/h

Landels 1978 *gB*, 214 a) „Vier hochgezüchtete Pferde mögen theoretisch in der Lage gewesen sein, eine Last von 2 bis 3 Tonnen bei einer
b) Geschwindigkeit von 7 – 8,5 km/h zu ziehen.“
c) daraus berechnet VL = 14 – 25,5 t*km/h; 3,5–6,4 t*km/h je Tier

White 1984 *gB*, 129 a) zit. Cod. Theod. 8.5.17: „Vehiculis nihil ultra mille librarum mensuram patiemur imponi, ...“ mille librarum rechnet er mit dem engl. Maß für Pfund um (490 g, aber nicht mit

³⁷⁴ Die Art der Vorspanntechnik – Kummet oder Joch – beeinflusst die Leistung der Zugtiere erheblich; in den Quellen wird hierzu meist keine Angabe gemacht; bei neuzeitlichen Werten ist demzufolge mit höheren, für die Antike nicht verwendbaren Werten zu rechnen.

³⁷⁵ bei 0,325 kg je röm. pound; Edict Diocl.

³⁷⁶ nach *Codex Theodosianus* VIII.5.8; VIII.5.30; VIII.5.47. Kendal setzt ohne schlüssige Begründung die Werte für seine Berechnungen um 75 % höher an: „In the circumstances an arbitrary figure 75 per cent above the Theodosian limit would seem a reasonable estimate to make.“

³⁷⁷ a. a. O.

- dem römischen 327 g³⁷⁸; er nennt so 490 kg statt 327 kg als Maximallast im Edikt)
- Boon 1984 *aA*, 51 a) 500 kg gesetzlich begrenzt für Karre im 4. Jh. nach Cod. Theod. VIII, iii,8.
- DeLaine 1997 *MS*, 108 a) Transport per Ochsenkarren max. ca. 500 kg³⁷⁹ bzw. ca. 400 kg³⁸⁰
 98 b) Ochsenkarren: 1,67 km/h, wenn schwer beladen³⁸¹
 c) daraus berechnet VL = 0,67 – 0,84 t*km/h
- Pearson 1999 *gB*, 108 a) Landtransporte großer 4rädriger Karren 8–10 Mulis oder Pferde: 600 kg³⁸²
 b) 4,8 km/h
 c) daraus berechnet VL = 2,88 t*km/h (Modell für römische Bauten)
- Nenninger 2001 *MS*, 76 a) „durchschnittlichen Zugvermögens verschiedener Tiere, das bei etwa 100 kg gelegen haben könnte“ „kann annäherungsweise ... auf eine Transportkapazität der Gespanne von etwa 700–800 kg geschlossen werden“
- Shirley 2001 *MS*, 115 a) ox-cart 750 kg; small mule-carts 100 kg
- Warry 2006 *MS*, 121 a) max. 500 kg Karren³⁸³
- Raepsaet 2008 *gB*, 600 a) Theodosius code: *birota*: 66 kg; *raeda*: 330 kg; *angaria*: 492 kg
- Bukowiecki – Wulff-Rheidt 2016b *gB*, 47 a) „Un plaustrum del genere poteva trasportare .. 360 *bessali* = 792 kg, o 60 *sesquipedali* = 810 kg o 30 *bipedali* = 900 kg“³⁸⁴
 48 b) Transportgeschwindigkeit nach DeLaine 1997 1,8 km/h
 c) daraus berechnet VL = 1,4 – 1,6 t*km/h

³⁷⁸ <http://www.imperiumromanum.com/wirtschaft/masse/masse_04.htm> (01.11.2017).

³⁷⁹ „The loading limit for an ox-cart ... quite 500 kg.“ nach Theodosius Code 8.5.30.

³⁸⁰ nach dem Edict Diocl.

³⁸¹ „The rate of travel is slow, as little as 1.67 km per hr if heavy loaden.“

³⁸² „a large four-wheeled vehicle pulled by teams of 8–10 mules or horses. It was a capable of carrying a load of up to 600 kg at a speed of 4.8 kph.“

³⁸³ zit. bei Boon 1984. „carts would have to be used for which the load was limited by law to about 500 kg.“

³⁸⁴ mit 2 Ochsen.

2rädriq Pferd

- Pegoretti 1863 *nH*, 19 c) Straße in der Ebene: Mittelwert VL 3,3 t*km/h je Tier³⁸⁵
- Cotterell – Kamminga 1990 *gB*, 207 a) 2 Pferde mit Hals-Kehle-Zaumzeug – leichter Wagen: max. Ladung/Tier: 430 kg – angemessene Ladung/Tier: 250 kg
 b) 4,3 km/h Schritt; 7,9 km/h Trab
 c) daraus abgeleitet VL = 1,1 bzw. 2,0 je Tier
- 206 a) 1 Pferd und Karren mit modernem Zaumzeug, angemessene Ladung: 680 kg,
 b) Schritt 4,3 km/h
 c) daraus berechnet VL = 2,9 t*km/h
- a) b) c) 1 Pferd und Karren mit modernem Zaumzeug, angemessene Ladung: 340 kg; Trab; 7,9 km/h; daraus berechnet VL = 2,7 t*km/h

4rädriq Pferd

- Pegoretti 1863 *nH*, 19 c) Straße in der Ebene: Mittelwert VL 2,8 t*km/h je Tier³⁸⁶
 Straße im Gebirge: Mittelwert VL 1,2 t*km/h je Tier³⁸⁷
- Raepsaet 2008 *gB*, 586 a) „Light horse Approximate traction force 60–80 kg.“
 b) „1 m/sec“ = 3,6 km/h;
 c) VL: 0,22 – 0,29 t*km/h

2rädriq Ochsen

- Cotterell – Kamminga 1990 *gB*, 206 a) angemessene Ladung/Tier: 680 kg
 b) 2,9 km/h
 c) daraus berechnet VL = 2,0 t*km/h
- Raepsaet 2008 *gB*, 586 a) „Steer Approximate traction force 60–80 kg.“ Zugkraft
 b) 0,6–0,85 m/sec = 2,2 – 3,1 km/h
 c) VL: 0,13 – 0,25 t*km/h

³⁸⁵ Datenberechnung wie oben. Vermutlich mit Be-u. Entladen.

³⁸⁶ Datenberechnung wie oben. Vermutlich mit Be-u. Entladen.

³⁸⁷ Datenberechnung wie oben. Vermutlich mit Be-u. Entladen.

4rädrieg Ochsen

- Pegoretti 1863 *nH*, 19 c) Straße in der Ebene: Mittelwert VL 1,5 t*km/h je Tier³⁸⁸
 Straße im Gebirge: Mittelwert VL 1,0 t*km/h je Tier³⁸⁹
- Shirley 2001 *MS*, 116 a) ox-cart: 750 kg 6 Ochsen
 b) 3 km/h
 c) daraus berechnet VL= 2,25 t*km/h
- a) kleine Ochsenkarre: 500 kg 4 Ochsen
 b) 3 km/h
 c) daraus berechnet VL= 1,5 t*km/h

2rädrieg Muli

- Pegoretti 1863 *nH*, 19 c) Straße in der Ebene: Mittelwert VL 3,1 t*km/h je Tier³⁹⁰
- Cotterell – Kamminga a) Muli (modernes Zaumzeug) angemessene Ladung/Tier:
 1990 *gB*, 206 340 kg
 b) 4,3 km/h
 c) daraus berechnet VL = 1,5 t*km/h
- Shirley 2000 *MS*, 146 b) two-wheel mule 7,8 km/h
- Shirley 2001 *MS*, 116 a) two-wheel 3 mules: 100 kg
 b) 8 km/h
 c) daraus berechnet VL = 0,8 t*km/h
- Raepsaet 2008 *gB*, 586 a) „Mule (male) Approximate traction force 50 – 60 kg.“
 b) 0,9 – 1,0 m/sec = 3,2 – 3,6 km/h
 c) 0,16 – 0,22 t*km/h

4rädrieg Muli

- Shirley 2001 *MS*, 116 a) 6 mules: 250 kg
 b) 7 km/h
 c) daraus berechnet VL = 1,8 t*km/h

³⁸⁸ Datenberechnung wie oben. Vermutlich mit Be-u. Entladen.

³⁸⁹ Datenberechnung wie oben. Vermutlich mit Be-u. Entladen.

³⁹⁰ Datenberechnung wie oben. Vermutlich mit Be-u. Entladen.

2rädriq Esel

Cotterell – Kamminga 1990 *gB*, 206 a) Esel (modernes Zaumzeug) angemessene Ladung/Tier: 170 kg

b) 4,3 km/h

c) daraus berechnet VL = 0,7 t*km/h

Raepsaet 2008 *gB*, 586 a) „Ass Approximate traction force 30 – 40 kg“

b) 0,7 m/sec = 2,5 km/h

c) VL: 0,075 – 0,1 t*km/h

per Schiff:

Ellmers 1972 *gB*, 253 b) Treideln (mit Pferden) spätes Mittelalter: Durchschnittsgeschwindigkeit 15–17 km/Tag: 1,25–1,4 km/h³⁹¹; weitere Angaben mit 1,4 bzw. 1,5 km/h; flussabwärts: je nach Strömung 4,7–6,7 max. 9,2 km/h³⁹² aber auch: Niederrhein (geringe Strömung: 1,3 km/h)

55 Reisegeschwindigkeit in der Binnenschifffahrt (Treideln) im Mittelalter:

„Ein Flacher Lastkahn brauchte auf der Rhône von Lyon bis Avignon zwei bis fünf Tage (200 km Luftlinie); das Treideln zurück erforderte dagegen etwa einen Monat.“

Pearson 1999 *gB*, 110 a) b) „On inland waterways, it has been assumed that barges similar to the ‘Zwammerdam II’ vessel from the Rhine were employed. A crew of three and speed of 1 kt³⁹³ has been assumed. The uncluttered, rectangular section of the barge’s hull would have allowed large items to be transported with relative ease, to a maximum of 45 tonnes or 50 m³.“

c) daraus berechnet VL= 83 t*km/h bzw. 93 m³*km/h

Shirley 2001 *MS*, 116 zit Pearson 1995³⁹⁴:

a) 45 t (50 m³) riverbarges

b) 1,85 km/h³⁹⁵

³⁹¹ bei 12 h/Tag.

³⁹² bei 12 h/Tag.

³⁹³ <<https://www.convertworld.com/de/geschwindigkeit/knoten.html>> (19.05.2018): 1 kt = 1,852 km/h.

³⁹⁴ unpublizierte MA-Thesis von A. Pearson 1995: „Building Anderita: The construction of the Roman Saxon Shore Fort at Pevensey“, Master’s thesis. Dept. Archaeology, University of Reading .

³⁹⁵ ohne Angabe, ob mit oder gegen die Strömung.

- c) daraus berechnet $VL = 83 \text{ t*km/h}$
 a) 90 t Küstenschiff
 b) 5,5 km/h
 c) daraus berechnet $VL = 495 \text{ t*km/h}$
- zeitspurensuche.de auf dem Rhein: „Treideln: Je nach Größe und Gewicht der Schiffe waren bis zu zwanzig mittelgroße Treidelpferde erforderlich, die in einem besonderen Geschirr an der Schiffsleine angespannt waren, um das Schiff zu ziehen. Für kleinere Schiffe oder Boote musste ein Pferd genügen. Für eine Last von 15 Tonnen wurden ca. sieben Treidelknechte oder ein Pferd benötigt. Vier Pferde konnten einen beladenen „Oberländer“ (im 16. Jh. der gängigste Schiffstyp auf dem Mittelrhein) stromaufwärts ziehen. Etwa 20 Pferde treidelten ein mit 50 Tonnen beladenes großes Transportschiff.“³⁹⁶
- Schiffs-Experiment „Diese sogenannten Prahme sind bislang erstaunlich schlecht erforscht. Dabei gehörten die länglichen, viereckigen Lastkähne zu den wichtigsten Transportmitteln im Römerreich. Diesen Schiffstyp haben sich nun der Althistoriker Christoph Schäfer von der Universität Trier und der Maschinenbauer Karl Hofmann-von Kap-herr von der Hochschule Trier vorgenommen.
- Der kleine Lastkahn erwies sich als erstaunlich segeltüchtig, sogar noch bei einer Windstärke von vier Beaufort. „Unser Geschwindigkeitsrekord lag sogar bei 5,7 Knoten“, sagt der Ingenieur. Das entspricht deutlich über zehn Kilometern pro Stunde.“ Wenn die Waren trocken bleiben sollten, waren 12 bis 13 Tonnen eine sichere Größenordnung.“ Damit konnten die Römer auf einem Prahm mit erstaunlich wenig Muskelkraft schon halb so viele Waren durch das Reich transportieren wie heute ein moderner Lkw.“³⁹⁷

³⁹⁶ <<http://www.zeitspurensuche.de/04/trei1.htm>> (26.08.2017).

³⁹⁷ <<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/schiffs-experiment-segeln-wie-die-roemer-a-1134420.html>> (08.06.2018) und Schäfer 2018: Die Angaben wurden von Prof. Schäfer im Gespräch mit dem Verfasser am 23.05.2018 wiederholt.

Entfernungen pro Tag

Die Angaben zu den maximal möglichen bzw. sinnvollen Entfernungen pro Tag oder je Fahrt für eine Transportart sind insbesondere dann relevant, wenn die Transportstrecke dieses Maximum übersteigt. Entweder muss am Ende einer Strecke ein weiteres Transportmittel zur Verfügung stehen, Personen oder Zugtiere gewechselt oder gar eine größere Pause eingelegt werden, wodurch die Transportdauer im Einzelfall erheblich ansteigen kann.

Quellenkatalog

- Rea 1902 *nH*, 50 Schubkarre („Barrow run“) bis 20 yards eingesetzt „wheeling is more economical than carting for distances under 100 yards (91 m)“
- Landels 1978 *gB*, 171 Transport durch Menschen: bei Distanzen > 40–50 yards: 23–27 kg³⁹⁸
- 177 Ochsen mit schwerer Ladung: bei schwierigen Wegen: 5–6 miles/day (8–10 km/Tag)
- Kunow 1980 *gB*, 21 „Im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit lag die Durchschnittsgeschwindigkeit für getreidelte Lastkähne bei 15 – 17 km pro Tag.“³⁹⁹
- Flussschiffahrt (Rhein): „Auf dem Rhein kann man unter Ausnutzung der Strömung [flussabwärts] ungefähr 50 – 60 km am Tag zurücklegen; [...] mit Ruderunterstützung sind Tagesleistungen von 80 km sogar zu überschreiten.“
- Darvill – McWhirr 1982 *MS*, 147 2 Beispiele für Ziegel Transporte bis 90 km in Britannien
- White 1984 *gB*, 131 „vehicles drawn by horses and mules ... an average daily run in a carpentum will have been some 70 km. We have no comparative data for oxe'-drawn wagons, but the slower gait of the ox might suggest a daily run around 40 km.“
- Denecke 1985, *gB*, 212 Ein „Frachtfuhrwerk“ im „Mittelalter“ legte 23 km in 12 h zurück. Ein „Frachtfuhrwerk (max.)“ im „Mittelalter“ legte im Sommer 28 bis 30 km in 12 h zurück.

³⁹⁸ in der deutschen Version: 23–27 kg Distanz > 40–50 m.

³⁹⁹ Kerig 2017 nennt die Angabe „qualifizierte Schätzung“.

Darvill – McWhirr 1984 <i>MS</i> , 250 und 253	70 – 90% der Fundstücke liegen in maximal 20 km Entfernung von der Produktionsstätte ⁴⁰⁰
Cotterell – Kamminga 1990 <i>gB</i> , 206/7	<u>Pferd und Karren</u> modernes Halfter, Schritt <u>4,3 km/h, 43 km/Tag</u> <u>Pferd und Karren</u> modernes Halfter, Trab <u>7,9 km/h, 36 km/Tag</u> <u>Ochsen und Karren</u> <u>29 km/Tag</u> <u>Muli</u> modernes Halfter <u>43 km/Tag</u>
Shirley 2000 <i>MS</i> , 177	Annahmen: <u>tägliche Distanz:</u> <u>„donkey“ 24 km; „mule“ 36 km, „small-cart“ 40 km, „large-cart“ 36 km, „wagons“ 24 km</u>
Warry 2006 <i>MS</i> , 126	Versuch der Berechnung einer Tagesetappe eines „ox-carts“ aus Preis- und Kostenangaben im Preisedikt von Diokletian: 15 km ⁴⁰¹
Raepsaet 2008 <i>gB</i> , 589	<u>Tiere mit Packsattel</u> <u>km/day</u> <u>Horse (walking) 40</u> <u>Horse (at a trot) 60</u> <u>European Mule 20–24</u> <u>European Army Mule 30–48</u> <u>British Army Ass 24–30</u>
Schroll 2014, <i>nH</i> , 14	Holztransport: „Im Flach- und Hügelland und in den weniger steilen Mittelgebirgen wurde das eingeschlagene Holz, soweit es sich um Brennholz handelte, am Fällort in handliche Größen zu Scheitholz oder Meterholz aufgearbeitet und von Hand zu Ochsenkarren oder Pferdewagen getragen“ „Der <u>Transport über Land</u> war allerdings nur über kürzere Entfernungen möglich, <u>15 – 20 km</u> galten als die obere Grenze“
Schenk 2017	<u>2 × 5 km/Tag</u> als Weglänge zum Besuch eines Marktes im Mittelalter

Aus dem Quellenkatalog sind für Transportbetrachtungen für Lehm und Fertigware einer Ziegelei insbesondere die maximalen Beladungen von Karren bzw. Schiffen in kg bzw. t

⁴⁰⁰ Untersuchung der Verbreitung von 7 Stempeltypen auf Ziegeln in Britannien.

⁴⁰¹ Dabei verwendet er keine Originalquellen, sondern zitiert aus DeLaine 2001.

und deren Transportgeschwindigkeiten von Interesse; aber auch für den Antransport von Brennmaterial können mit den maximalen Transportvolumina der Fahrzeuge plausible Werte hergeleitet werden.

13.4.4 Relationen der Transportarten zueinander

Bei der Auswahl der wirtschaftlichsten Transportart für Fertigprodukte einer Ziegelei kommt dem relativ hohen Gewicht der Ware bei gleichzeitig anzunehmenden hohen Stückzahlen besondere Bedeutung zu. So haben Landfahrzeuge (z. Karren mit Zugtieren) beispielsweise eine recht geringe Ladefähigkeit und insbesondere bei schlechten Wegen eine niedrige Transportgeschwindigkeit; flußabwärts fahrende Schiffe können dagegen wesentlich mehr Ware laden und schneller unterwegs sein. Im nachfolgenden Quellenkatalog werden Gegenüberstellungen von Transportarten auf der Basis von Preisen bzw. Kosten aufgeführt. Da Preise jedoch einerseits nur bedingt vom Aufwand für eine Aktivität bestimmt werden – sondern i. d. R. von Angebot und Nachfrage – und zudem für die Zeitpunkte/-räume für Studien zu realen Ziegeleibefunden für den relevanten Zeitbereich meist nicht vorliegen, sind solche Aussagen nur bedingt aussagefähig. Die Gegenüberstellung der Verkehrsleistungen VL der Transportmittel (in t*km/h) bietet hier eine neuere Sicht. Die VL sind aufwandsbezogen und somit preisunabhängig.

Quellenkatalog

- Rackham 1982 *gB*, 214 Preise für Holztransporte in Großbritannien 1240–1450
 „road 1.3 d per to*mile
 Inland waterways 0.29 d per to*mile
 Coastal shipping 0.12 d per to*mile“
 (1d = 1 Penny)
 daraus berechnet Preisrelationen: Küstenschiffahrt : Binnengewässer : Land:
1 : 2,4 : 11⁴⁰²
- DeLaine 2001 *MS*, 234 „the cost of moving one tonne one Roman mile costs 1.44 times as much by ox-cart, 0.26 times as much by river upstream, 0.13 times as much by river downstream, and 0.035 times as much by sea.“⁴⁰³

⁴⁰² keine Angabe/Trennung in flußabwärts und flußaufwärts; keine Geschwindigkeiten.

⁴⁰³ berechnet auf der Basis von Lohnkosten im Preisedikt von Diokletian.

daraus abzuleitende Kosten: See : flussabwärts : flussaufwärts : Ochsenkarre zu 1 : 4 : 8 : 42⁴⁰⁴

Schenk 2017 Transportfaktor: See : Kanal : Fuhrwerk : Lasttier: 1 : 3 : 9 : 27

Relationen von VL aus den obigen Quellenkatalogen:

Küstenschiff : flussabwärts : flussaufwärts : Ochsenkarre:

495 : 83 : 45 : 6 t*km/h⁴⁰⁵ (= 83 : 14 : 7,5 : 1)

Bei gleichem Auftrag ist somit mit einem Ochsespann die 83-fache Leistung im Vergleich zu einem Schiffstransport erforderlich. Die Relation der o. g. „Transportfaktoren“ ergibt sich demnach zu 1 : 6 : 11 : 83

Diese Werte liefern schon vor konkreten Berechnungen im Rahmen von Fallstudien (unter Verwendung von Daten aus den jeweiligen o. a. Quellenkatalogen) Aussagen zum Vergleich der jeweiligen Transportaufwände. Für den Transport von Ziegeln mit einem Gewicht von ca. 2 t je m³ ist demnach der Transport per Schiff einem Transport per Ochsenkarre – wenn möglich – vorzuziehen.

13.4.5 Be- und Entladen

Bei allen Quellen zum Be- und Entladen fällt auf, dass die spezifischen Werte in Menge je h und nicht je Mh angegeben werden. Hier wird davon ausgegangen, dass h mit Mh gleichzusetzen ist und die Werte sich auf das Be- und Entladen durch eine Person beziehen.

⁴⁰⁴ Erstmals genannt in DeLaine 1997, 211 „then the ratio sea : downstream or inland waterway : upstream : ox-cart becomes 1 : 3,9 : 7,7 : 42; Laurence 1999, 98–99 rät zur Vorsicht bei der Verwendung von Daten aus dem Preisedikt, da Ladungen und Transportarten nicht direkt vergleichbar sein könnten; DeLaine geht 2001 darauf nicht ein.

⁴⁰⁵ siehe Pegoretti 1863: 1,5 t*km/Tier → bei 4 Ochsen je Karre: 6 t*km/h.

Quellenkatalog

Rea 1902 <i>nH</i> , 50/51	bei kurzen Wegen zum Abtransport in Schubkarren oder Körben: „zusätzlich 1 MA für Beladen“ während der andere fährt.“ ⁴⁰⁶
Weber 1925 <i>nH</i> , 366	<u>Schubkarre</u> 50 l, Zeit für Laden/(Entladen): 2 min; 40 min/m ³ bzw. <u>1,5 m³/h</u> ; ⁴⁰⁷ <u>Handkarre</u> : 0,24–0,3 m ³ , Zeit für Laden/(Entladen): 25 min; ca. 100 min/m ³ bzw. <u>0,6 m³/h</u> ; 2räd-rige <u>Karre</u> mit Pferd 0,5 m ³ , Zeit für Laden/(Entladen): 30 min; ca. 1 h/m ³ bzw. <u>1 m³/h</u>
Kendal 1966 <i>gB</i> , 144	Beladen von Transportfahrzeugen: „To this must be added the loading and unloading time, estimated at 0.15 hr per 0.1 tonne.“ d. h. 9 min je 100 kg bzw. 670 kg/h oder: bei 2 t/m ³ : <u>0,33 m³/h</u>
Rupp Friedrich 1988 <i>gB</i> , 23	Laden gehört zu Ausgraben (Lehmabbau) – wird von derselben Person ausgeführt.
DeLaine 1992 <i>MS</i> , 121	„and more manpower is required for loading and unloading“ ⁴⁰⁸
Pearson 1999 <i>gB</i> , 109	1 h Be- bzw. Entladen von 600 kg Stein, ergibt bei 2 t/m ³ : <u>0,3 m³/h</u> ⁴⁰⁹
Shirley 2000 <i>MS</i> , 147	aus Table 7.48: Tragekorb („man-carrying“): Beladen: 12 h für 10 m ³ = <u>0,83 m³/h</u> ; Entladen: <u>1,7 m³/h</u> „large ox-cart“: Beladen: 10 h für 10 m ³ = <u>1 m³/h</u> ; Entladen: <u>2 m³/h</u> „2-wheeler cart“: dto. „donkey“: Beladen: 128 h für 10 m ³ = <u>0,08 m³/h</u> ; Entladen: <u>0,16 m³/h</u> „mule“: Beladen: 64 h für 10 m ³ = <u>0,16 m³/h</u> ; Entladen: <u>0,32 m³/h</u>

⁴⁰⁶ „The proportion of wheelers to shovellers may be estimated approximately by the fact that a shoveller takes about as long to fill an ordinary barrow with earth as a wheeler takes to wheel a full barrow about 100 ft on a horizontal plank and return with an empty barrow.“

⁴⁰⁷ berechnet aus der Formel für den Zeitaufwand in Arbeitstagen für den Transport von 1 m³.

⁴⁰⁸ keine spezifischen Angaben, keine verwendbare Quelle sondern „load and carry“ in einem Wert.

⁴⁰⁹ rückgerechnet aus dem Gesamtzeitbedarf und der Fahrzeit („Time for journey and return, including L and unL“) für die Strecke bei 4,8 km/h.

Shirley 2001 *MS*, 116 „each cart or waggon would have needed a driver, plus two men to load an unload.“

Ist-Werte für das Be- und Entladen von Transportbehältern oder -fahrzeugen liegen aus der Praxis für die Forstwirtschaft mit 0,6 – 1,5 m³/h vor. Die Schätzungen in vergleichbaren Modellrechnungen liegen ebenfalls in diesem Bereich; lediglich beim Beladen von Tieren mit Transportkörben werden längere Zeiten angesetzt. Unterstellt man, dass das Be- und Entladen als Tätigkeit mit dem Lehmbau durch Schaufeln vergleichbar ist, können auch die dort genannten Zeitwerte von Hurst 1865 mit 0,78 m³/h und Pegoretti 1863 mit 0,6 – 1,1 m³/h herangezogen werden, die ebenfalls in dem genannten Rahmen liegen.

Für die Berechnungen wurde 0,8 m³/Mh, d. h. 1,6 t/Mh verwendet.

13.5 Weitere Daten/Berechnungsarten

Quellen zu Kap. 10

13.5.1 Tägliche Arbeitszeit

Zu den Arbeitszeiten in einer römischen Ziegelei liegen keine zeitgenössischen Quellen vor. Daten aus Ziegeleien mit manueller Ziegelformung können hier sinnvolle Orientierungen liefern. Dabei ist zu beachten, ob die jeweiligen Zeitangaben Arbeitszeiten mit Pausen (brutto) oder Tätigkeitszeiten ohne Pausen (netto) nennen. Für die Art der hier angestellten Berechnungen werden Nettowerte benötigt; diese werden dann dem spezifischen Zeitbedarf je Stück gegenübergestellt und so die benötigten Mannstunden je Fertigungsprogramm ermittelt.

Da das Herstellen von Ziegeln aufgrund der Witterungsverhältnisse vorwiegend in den Monaten mit längeren Tageslichtphasen stattfindet, stehen so bis zu 16 Stunden eines Tages als maximale Arbeitszeit zur Verfügung.⁴¹⁰ In den akkordorientierten Produktionen des 19. und 20. Jh. wurde dieser Zeitraum weitgehend ausgenutzt. Durchschnittliche Arbeitszeiten von mehr als 12 Stunden waren durchaus üblich (siehe nachfolgende Quellen).

Eine solche Auslastung soll für die römische Zeit hier nicht unterstellt werden; gesetzt werden eine Arbeitszeit von 12 Stunden und eine Nettoarbeitszeit von 10 Stunden als Basis für die Berechnungen. Der Wert orientiert sich an den Angaben von Hurst 1865, Pegoretti 1863, Rea 1902 und anderen sowie den nachfolgenden Betrachtungen zur Länge des Tageslichts in den NW-Provinzen mit Köln als hierfür repräsentativem Ort.⁴¹¹

⁴¹⁰ am längsten Tag des Jahres.

⁴¹¹ Daten aus: <<https://www.timeanddate.de/sonne/deutschland/koeln>> und <<https://www.timeanddate.de/sonne/italien/rom>> (14.05.2018).

Auswertung:

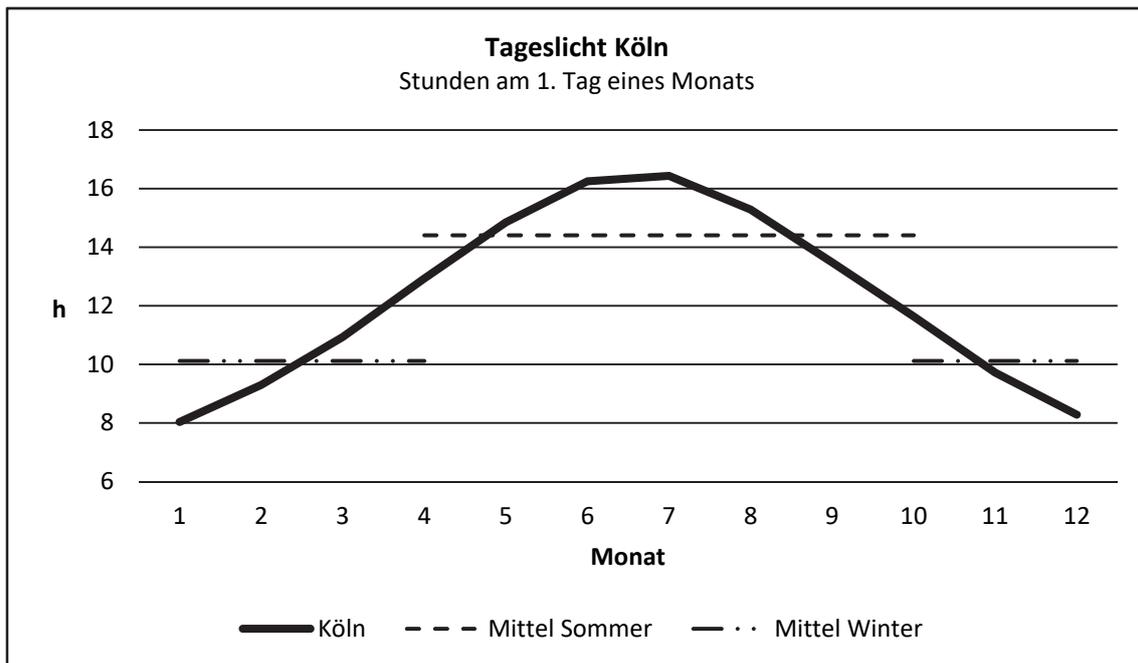


Abbildung 53 Dauer Tageslicht in Köln

Die durchschnittliche Dauer des Tageslichtes in Köln beträgt heutzutage während der Produktionsperiode der Ziegel von April bis Ende September ca. 14,4 h – und ist somit 20 % höher als der hier für die tägliche Betriebszeit verwendete Wert (brutto ohne Pausen) von 12 h.⁴¹²

Auf die Leistung einer Ziegelei in t verarbeitetem Lehm je Saison hat dies jedoch keinen Einfluss: Die Kapazität des eingesetzten Ofens und dessen Betrieb mit kontinuierlich aufeinanderfolgenden Chargen bestimmt diese Obergrenze. Es kann je Charge nur eine maximale Menge von zu Ziegeln verarbeiteten Lehms in einer für die Größe des Ofens fixer Zeit gebrannt werden. Während der Dauer dieses Brennvorganges, mit Befüllen und Leeren des Ofens, sind die Ziegel für die neue Charge zu formen. Stehen dazu je Tag mehr als die 10 h zur Verfügung, verringert sich dadurch lediglich die Anzahl benötigter Formplätze, da der Output je Tag und Formplatz ansteigt. Eine mögliche Erhöhung der Anzahl Rohlinge mit den zuvor berechneten Formplätzen durch Erhöhen der Tätigkeitszeit würde zu einer Überproduktion führen, für die kein Brennraum zur Verfügung steht. Rein rechnerisch werden durch die Erhöhung der täglichen Tätigkeitszeit bis zu 20 % weniger Formplätze benötigt.

⁴¹² Die gleichen Relationen mit einer aktiven Zeit von 10 h je Tag sind auch hier für die antike Periode und für den Raum der NW-Provinzen verwendet worden.

Der Bedarf an Mh je Charge bleibt von dieser Ausdehnung der täglichen Betriebszeit unbeeinflusst – dies ist ebenfalls auf die hier verwendete Maximalauslastung des Ofens zurückzuführen. Die Anzahl eingesetzter Mitarbeiter zur Erbringung dieser Mh je AT hängt lediglich von der Anzahl Mh je MA und AT ab und ist bei Überlegungen zur Bestimmung der Anzahl benötigter Personen zu berücksichtigen; beispielsweise bei 8 h Tätigkeit oder bei nur halbtags eingesetzten Mitarbeitern.

Für Arbeiten im Winter (Lehmabbau und Brennmaterialgewinnung) stehen in Köln ca. 10 h Tageslicht je Tag zur Verfügung. Dies ist bei der Anzahl benötigter MT je Materialeinheit für diese Aktivitäten zu berücksichtigen; die Anzahl Mh ändert sich jedoch nicht. Bei 10 h Anwesenheit am Arbeitsplatz und 2 h Pause ist dann ein MT mit 8 h zu bemessen; hierfür wurde die Einheit MTw eingeführt.

Quellenkatalog

- | | |
|--|--|
| Duhamel du Monceau
u. a. 1765 <i>nH</i> , 175 | „Es lehret sich ... ein tüchtiger Former ..., zumal wenn er <u>12 bis 13 Stunden</u> , die er gemeinglich bey guter Witterung dazu anwendet, arbeiten kann.“ |
| Pegoretti 1863 <i>nH</i> , 13 | Tagesarbeit = <u>10 h</u> (netto) „Queste mercedi poi vanno sempre proporzionate al lavoro diurno di dieci ore.“ |
| Hurst 1865 <i>nH</i> , 317,
376 | Die angegebenen Vorgaben und Berechnungen beziehen sich auf 10 h netto je Arbeitstag „of per day of <u>10 working hours</u> “ |
| Rea 1902 <i>nH</i> , 47 | Erdabbau mit einem Arbeitstag von <u>10 h</u> ⁴¹³ |
| Young 1968 <i>nH</i> , 320 | Braodmyne GB: Arbeitszeit Ende 19. Beginn 20. Jh.: an einem normalen Arbeitstag von 6 – 20 h („In a normal working day, <u>6. a. m. t 8 p. m.</u> ...“) |
| Ebert – Vogtmeier
1980 <i>gB</i> , 26 | Lippische Wanderziegler Anfang 20. Jh.: „Die ganze Woche über gilt es von morgens früh bis abends spät, von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang zu arbeiten in schwerster und anstrengendster Arbeit; für die Frühstücks- und Vesperpause währt ½, die Mittagspause 1 Stunde.“ |
| | 56 „Wenn auch trotz aller Bemühungen auf den meisten Ziegeleien auch weiterhin noch die <u>vierzehnstündige Arbeitszeit</u> beibehalten wurde, gab es doch zumindest 1914 kaum noch Ziegeleien, in denen länger als vierzehn Stunden gearbeitet wurde.“ |

⁴¹³ Als Basis für eine Lohnberechnung verwendet.

DeLaine 1992 und 1997 <i>MS</i> , 1992, 12	12 h je Arbeitstag (keine Angabe, ob brutto oder netto); 1997, 106 <u>10 h netto</u> , von Pegoretti übernommen
Ortmeier 1995 <i>gB</i> , 6	italienische Ziegler im Hügelland von Niederbayern im 19. Jh.: „Als schließlich die Bedingungen sich langsam verbesserten, die Arbeitszeit auf <u>13 Stunden</u> täglich verkürzt wurde ...“
Schrader 1997 <i>gB</i> , 62	Handstrichziegeleien 1800–1850: während der Kampagne 6 Tage/Woche von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang <u>bis 14 h/Tag</u>
Braukmüller 2000 <i>gB</i> , 76 und 81	Anmerkungen zu einer Ziegelei im 16. Jh.: „Seine Frau schafft in einer Woche bei einer Arbeitszeit von 6 Tagen zu <u>12 Stunden</u> ...“
	152 Tag eines Zieglers um 1900: Arbeitszeiten: 5 – 9h, 9.30 – 12h, 12.30 – 15 h, 15.30 – 19 h; Summe = <u>11 ½ h</u>
Shirley 2000 <i>MS</i> , 94, 153	Annahme <u>8 h/Tag</u> ohne Pausen

Die Anzahl Mh je MT wurde für Frühjahr bis Herbst mit 10, für den Winter mit 8 (MTw) angesetzt.

13.5.2 Jahresarbeitszeit/Saison

Die jährlichen Betriebszeiten von Ziegeleien sind wegen der klimatischen Verhältnisse in den hier ausgewählten Regionen auf einige Monate eines Jahres begrenzt; zum Arbeiten in offenen, unbeheizten Räumen sowie für das notwendige Trocknen der geformten Rohlinge ausreichende Temperaturen liegen dort nur von Frühjahr bis Herbst vor. Vorbereitende Tätigkeiten, wie der Abbau von Lehm und dessen Aufbereitung (Bewintern) sowie das Gewinnen und Trocknen des Brennmaterials Holz sind hingegen hiervon unbeeinflusst möglich. Insbesondere die Lehmaufarbeitung erfordert in einigen Regionen sogar das Tätigsein in Herbst und Winter, um die strukturverändernden Prozesse im Rohmaterial durch Frosteinwirkung zu ermöglichen. Auch das Fällen und Aufarbeiten von Bäumen zu Brennholz findet bevorzugt in Spätherbst und Winter statt, in denen die Stämme relativ wenig Saft enthalten und so einfacher zu bearbeiten sind.

Für den Mittelmeerraum herrschen dagegen andere klimatische Verhältnisse, die ebenfalls eine Begrenzung der Ziegeleiaktivitäten notwendig machen können: die hohen Temperaturen im Sommer sind sowohl für die Arbeitskräfte bei ihrer anstrengenden Formerarbeit eine Strapaze als auch ein großes Risiko für den Trocknungsprozess der Rohlinge, die dann wegen zu schnellem und ungleichmäßigem Wasseraustritt zu reißen drohen. Vitruv empfiehlt für das Ziegelstreichen deshalb das Frühjahr und den Herbst.

Zu den jeweils verfügbaren Tageslicht-Stunden dieser Perioden für das Gebiet um Rom liegen die Werte für die durchschnittliche Dauer des Tageslichtes für die beiden Produktionsperioden – wegen Nichtberücksichtigung der Monate Juli und August – bei 12,6 h und für den Winter bei 10,7 h.

Zur Berechnung der Anzahl eingesetzter Mitarbeiter liefern diese Angaben einen Orientierungsrahmen: Bei 10 h Tätigkeit eines Mitarbeiters je Tag und an allen Tagen einer Saison entspricht die Anzahl ermittelter MT je Tag der Anzahl benötigter Mitarbeiter. Dies würde jedoch bedeuten, dass alle Mitarbeiter ohne Pausentage arbeiten müssten: ein eher unrealistisches Szenario. Exakte Zahlen hierzu liegen aus der Antike nicht vor. Deshalb werden hier Näherungsbetrachtungen für Abschätzungen angestellt:

Bei einer Tätigkeit von 6 Tagen je Woche je Mitarbeiter ergibt sich ein Faktor von 1,17 (Anzahl Arbeitskräfte je benötigter MT je AT), d. h. 17% mehr Mitarbeiter als berechnete MT müssen tätig werden. Sollten diese Mitarbeiter darüber hinaus in Halbtagsarbeit aktiv sein, z. B. wegen anderer Arbeiten in einem militärischen Verband oder als landwirtschaftliche Helfer, würde sich diese Anzahl nochmals verdoppeln.⁴¹⁴ Da für viele Arbeiten sogar spontan ungeübte Mitarbeiter evtl. tageweise eingesetzt werden können, kann sich diese Anzahl zusätzlich erhöhen. Exakte Angaben zu realen Gegebenheiten erscheinen deshalb kaum möglich; Mindestwerte liegen jedoch vor. Gleichzeitig ist dieser Aspekt ein Indiz für die Flexibilität beim Personaleinsatz in einer Ziegelei und somit ein positiver Faktor für die Annahme einer kontinuierlichen Produktion während einer Saison.

Quellenkatalog

Frank 1940 <i>gB</i> , 209	„and as the period of actual production <u>from April to September</u> “ für den Bereich Rom und Umgebung ⁴¹⁵
Ebert – Vogtmeier 1980 <i>gB</i> , 25	Ziegler im Lipperland: Beginn der Kampagne in der <u>1. Aprilhälfte bis Ende September/Anfang Oktober</u>
Darvill – McWhirr 1982 <i>MS</i> , 138	„The constraints of the British temperate climate mean that, without considerable capital expense on the provision of shelter for the workers and drying facilities, bricks could only be made <u>between June and September.</u> “

⁴¹⁴ Feiertage, die gleichzeitig zum Ruhen des gesamten Betriebes während einer Saison führen, bleiben hier zunächst unberücksichtigt.

⁴¹⁵ steht im Widerspruch zu dem von Vitruv angegebenen Zeitraum.

- Spitzlberger 1983 *gB*, 125 zit. Vitruv.⁴¹⁶ Ziegelstreichen nur im Frühjahr und Herbst
- Ortmeier 1995 *gB*, 45 zu Beginn des 20. Jhs. in Bayern mit italienischen Gastarbeitern: „Im Laufe der 6-monatigen Saison.“
- DeLaine 1997 *MS*, 114 „Actual production takes place from April to September..“
 „That this was also the practice in the ancient world is suggested by the few graffiti on bricks“ Diese Basis-Angaben sind sehr spärlich und eher nicht repräsentativ für eine solche Aussage.
- 117 „... the length of the firing season, which we assume to run from mid-April to mid-October, say 180 days in all.“
- Bönisch 1998b *eA gB*, 32 „Arbeitsbeginn ist ab Mitte April; Ende spätestens Anfang Oktober“
- Hollestelle 1961 *gB*, 23 „Ziegelbrennen war immer Saisonarbeit: In warmen Ländern vermeidet man die heißen Sommermonate; in unseren Breiten war gerade der Winter unmögliche Jahreszeit; Beginn der Arbeit meist 1. April oder in der Woche nach Ostern bis Ende September.“
- Bullack 2004 *gB*, 20 Ziegelöfen im 19. Jh. am Niederrhein: „Da die Arbeit von der Witterung abhängig war, kam nur die Zeit von April bis Oktober in Betracht.“
- Federhofer 2007 *gB*, 93 „In den nördlichen Provinzen dauert eine Saison von April bis September.“
- Brandl – Federhofer 2010 *gB*, 54 „Dagegen war das Ziegeln in den Provinzen nördlich der Alpen eine Arbeit, die gerade in den Sommermonaten zu erledigen war ...“
- Charlier 2011 *MS*, 723 zu den Jahreszeiten, in denen in gallo-römischer Zeit geziegelt wurde: „la fabrication se déroule essentiellement à la belle saison“
 „la fabrication se déroule essentiellement à la belle saison“
- 729 „la majorité d’entre elles se placent de mai à septembre“
- Federhofer 2011 *gB*, 18 zur Ziegelei in römischer Zeit: „Geziegelt wurde in der Regel in den frostfreien Monaten April/Mai bis Oktober.“

⁴¹⁶ Vitruv Liber secundus, III: „2. Ducendi autem sunt per vernum tempus et autumnale, ut uno tenore sicciant.“

archäologie online v. 26 08 2011 <i>eA</i> ,	„Mit einem Ziegelofen dieser Größe konnten pro Saison (<u>April bis Ende Oktober</u>) ...“
Bukowiecki – Wulf-Rheidt 2016b <i>gB</i> , 48	„Durante la stagione di funzionamento dei cantieri edili, che si sviluppava in generalele <u>fra marzo ed ottobre</u> (circa 240 giorni lavorativi)“ Für Rom und Umgebung: 240 Tage von März bis Oktober für Baustellenarbeiten in Rom (30 AT je Monat) – nicht für Ziegeleien

Für die NW-Provinzen wurde auf der Basis dieser Quellen eine Ziegelsaison von Mitte April bis Ende September mit 168 AT verwendet.

13.6 Ziegelproduktion für Rom

13.6.1 Standorte

Die Quellen zu Standorten von Ziegeleien für Bauten im kaiserzeitlichen Rom sind bzgl. der Angaben zu Öfen bei weitem nicht so zahlreich und detailliert wie die für die NW-Provinzen. Sie sind hier in zwei Gruppen gegliedert aufgeführt:

- Regionen – z. T. mit Standorten – ohne Angaben zu Öfen
- Angaben zu Öfen in den Regionen/Standorten

Zusätzlich wurden weitere zeitgenössische italische Regionen mit Angaben zu Ziegelöfen recherchiert. Sie liefern vergleichbare Informationen über den technischen Standard der Epoche in benachbarten Bereichen und zeigen so flankierend Tendenzen zu den „Öfen für Rom“ auf.

Quellenkatalog

1. Angaben zu Regionen und Standorten

DeLaine 1992, 176 „Many of the brickfields supplying Rome during the empire appear to have been in this latter area,⁴¹⁷ where the fuel was more readily available and the river could be used to transport the finished products.“⁴¹⁸

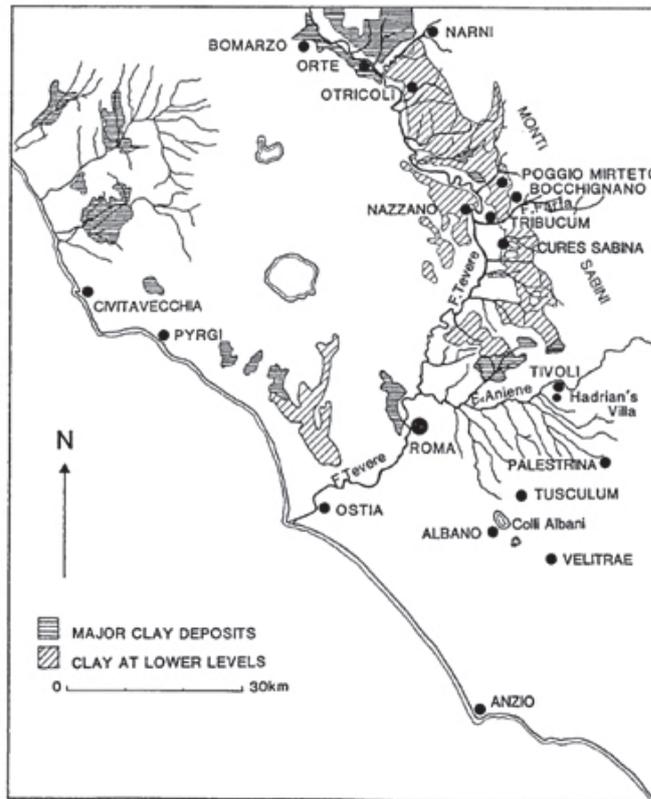


Abbildung 54 Lehmvorkommen in Rom und Zentralitalien (DeLaine 1992)

⁴¹⁷ „Possible sites for various figlinae such as the Salarese along the Via Salaria and extending as far north as Orte and the river era have been identified.“

⁴¹⁸ siehe auch DeLaine 2016, 227 „The distribution of middle Tiber Valley products of the imperial period is of course well-known.“ Keine weiteren Quellenangaben hierzu.

Ferdière 2012, 46

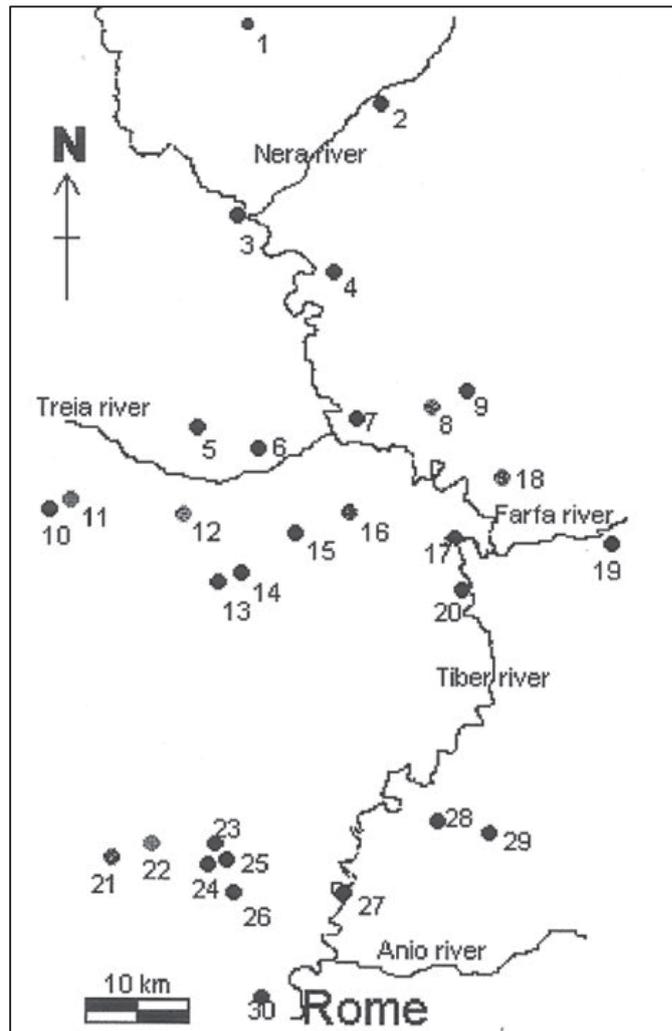


Abbildung 55 Zentren der Keramikproduktion (Ferdiere 2012)

Darin aufgeführte Orte:

1 Poggio Gramignano, 2 Nami Scalo, 3 Orte, 4 Otricoli, 5 Falerii Novi, 6 Civit  Castellana, 7 Grappignano, 8 Aia Roman kiln site, 9 Formu Novum, 10 Sutri, 11 Fonte Vivola, 12 Nepi, 13 Valle l'Abbate, 14 Mazzano, 15 San Biagio, 16 Mt. Soracte, 17 Nazzano, 18 Galantina, 19 Castel Nuovo di Farva, 20 Fiano Romano, 21 Fosso Arrone, 22 Fosso Galeria, 23 Castel del Pino, 24 La Storta, 25 Isola Farnese, 26 La Giustiniana, 28 Monterotondo Scalo, 29 Mentana, 30 Valle Aurelai 46

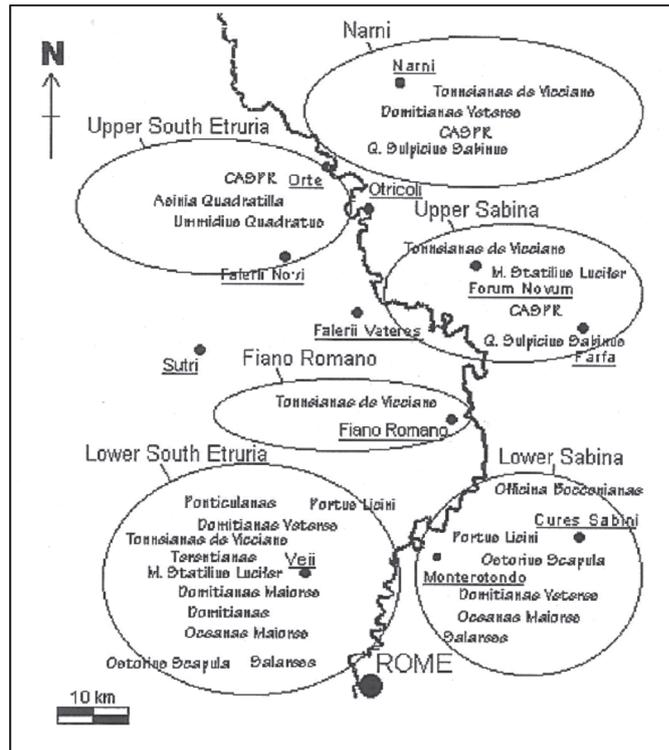


Abbildung 56 Zentren der Keramikproduktion (Ferdieri 2012)

Bukowiecki – Wulff-
Rheidt 2016a, 28

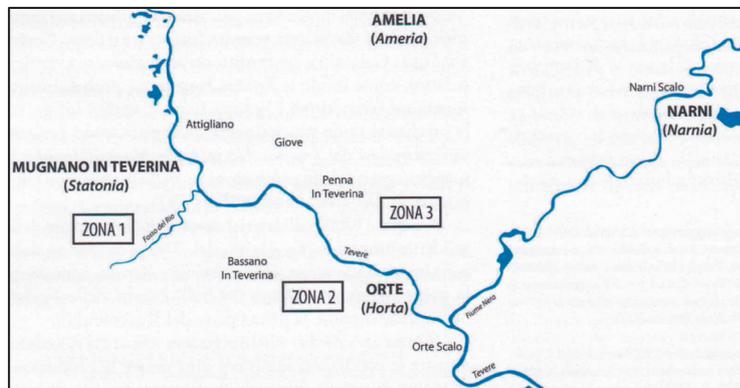


Abbildung 57 Lage der wichtigsten Ziegelproduktionsgebiete im mittleren Tibertal (Bukowiecki – Wulff-Rheidt 2016a)

Beschreibung von Regionen der Ziegelherstellung auf der Basis von Studien zu Ziegelstempeln. Angaben zu speziellen Orten oder gar Produktionsstätten werden ebenso wenig gemacht, wie zu Brennöfen oder anderen Elementen der Ziegeleien.

Der Bericht über Öfen in Rom und Umgebung nennt mehrere Befunde zu Standorten; u. a. auch Informationen zu Brennöfen:

Nr. 4: Typ IIb nach Cuomo di Caprio 1979, 76⁴¹⁹

Nr. 6: Typ IIb Brennkammerfläche $3,8 \times 2,38 \text{ m}$ ($= 9 \text{ m}^2$)⁴²⁰

Nr. 13: Typ IIb⁴²¹

Peña 1987, 550

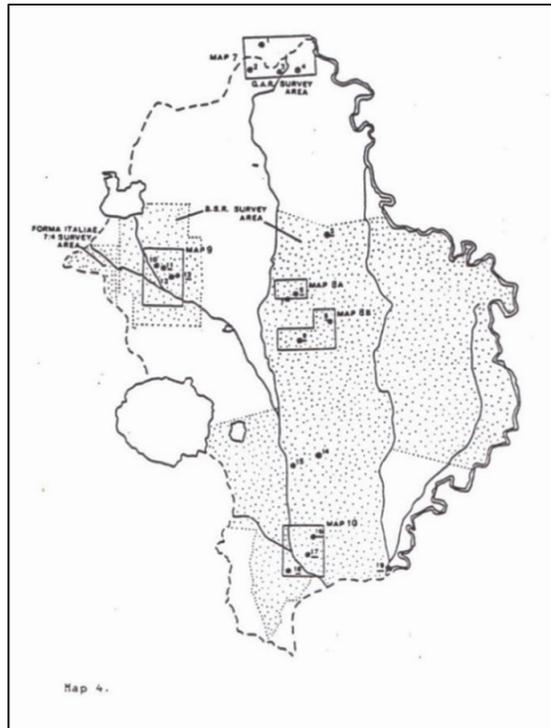


Abbildung 59 Survey area (Peña 1987)

Legende (aus dem Text entnommen): 112 site 2 Orte sigillata Töpfer; 130 site 3 Orte pottery; 133 site 4 Orte pottery; 135 site 5 Civita Castellana pottery; 149 site 6 Nepi pottery; 183 site 7 Nepi schlechte unklare Befunde; 185 site 8 Nepi Ziegel 400–250 BC keine Öfen; 197 site 9 Nepi Ziegel + pottery keine Öfen; 227 site 10 Ronciglione wenig Angaben zum Befund – vermutet: Ziegel; 228 site 11 Ronciglione pottery; 256 site 12 Sutri Ziegel nur Schutt von einem Ofen; 258 site 13 Ronciglione Ziegel und pottery keine Öfen; 279 site 14 Campagnano di

⁴¹⁹ 134.

⁴²⁰ 135.

⁴²¹ 136. Die anderen Öfen waren für andere Zwecke eingesetzt oder sind nicht detailliert publiziert.

Roma villa der Kaiserzeit Töpfer 26 Scherben; 281 site 15 Formello schlechter Befund: Stück v. Ziegel; 284 site 16 Formello pottery; 304 site 17 Ziegel annex von villa 1. Jh. AD keine Öfen; 319 site 18 Monte Mario pottery und Ziegel nur Ofenschutt; S335 site 19 Roma Nord Töpfer

Gasperoni 2010, 176 In Mugnano in Teverina (Gegend Rota Rion am oberen Tiber) befindet sich ein Ofen aus augusteischer Zeit mit den Abmessungen $4,5 \times 1,65 \text{ m} = 7,5 \text{ m}^2$.⁴²²

3. Öfen vom Typ IIb in anderen Regionen

Bermond Monatanari 1962,164 in Emilia gefundene römische Öfen: Nr. 9) Santo Marino (Comune Poggio Berni, Forli) Nähe Rimini; Fig. 1 b Ofen mit abgerundeten Ecken Brennkammer (Abmessungen aus Zeichnung): $3,8 \times 2,5 = 9,5 \text{ m}^2$

De Maria 1978, 82 f Ein Ofen in Marzabotto Region Emilia aus römischer Zeit ist vom Typ IIb und hat die Brennkammerfläche $4,2 \times 2,8 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$; außerdem: Für Typologie, Technik, Konstruktion, verwendete Materialien und Funktionsweise ist der Ofen in einem sehr großen Gebiet zu finden, das den gesamten römischen Westen umfasst.“ „Es gibt deutliche Übereinstimmungen mit ähnlichen Anlagen in der Region Emilia. Dies zeigt den weit verbreiteten Einsatz von allgemein einheitlichen Brenntechniken für Keramik und Ziegel.“⁴²³

Giustini 1997,42 Ofen mit einer Brennkammerfläche von $4 \times 4 \text{ m}$ aus dem 19. Jh. in Rom, der von Valadier 1828 in „L'Architettura Pratica“ als traditioneller diskontinuierlicher Ofen beschrieben wird; d. h. Öfen dieser Größenordnung und Bauweise waren auch lange nach römischer Zeit bekannt und in Gebrauch.⁴²⁴

⁴²² DeLaine 2016, 227 liefert hierzu „A few quick calculations“: Demnach könnten bei 2 m Brennkammerhöhe darin 12.000, oder bei 3 m Höhe 18.000 *bessales* gebrannt werden. Überlegungen zu einer für den hier vorliegenden Ofentyp technologisch sinnvollen Brennkammerhöhe werden dabei nicht vorgelegt. Die Werte sind demzufolge nur eine sehr oberflächliche – und damit wenig aussagefähige – Quantifizierung. Dies gilt auch für die weiteren Berechnungen, bei denen Daten herangezogen werden, die DeLaine 1997, 118 für Öfen aufgestellt hat, deren Brennkammervolumen das des hier betrachteten Ofens um ein Vielfaches überschreiten und in denen andere Abläufe und Inhalte zu erwarten sind.

⁴²³ 90 „Per tipologia, tecnica costruttiva, materiali impiegati e funzionamento, la fornace A trova riscontro in un'area assai vasta, che copre tutto l'Occidente romano, ...“

⁴²⁴ 39 „La fornace descritta de Valadier, di tipo intermittente (tradizionale) ...“

- Stoppioni 1998,153 Bericht über 18 Öfen im Gebiet von Riccione südl. v Rimini aus römischer Zeit;
davon 15 mit rechteckigem Grundriss und zentralem Brennkanal; d. h. vom Typ IIb nach Cuomo di Caprio.
- Cuomo di Caprio 1998, 9 „Im Allgemeinen hat der Ofen einen länglichen rechteckigen Grundriss und einen zentralen Korridor“ mit den „Abmessungen: 5 – 3 – 1,5 m“; d. h. Typ IIb mit maximalen Brennkomerflächen im Bereich der in den NW-Provinzen vorgefundenen Öfen.
- Martelli 2006, 299 Region Florenz zu römischer Zeit 30 Öfen im Gebiet Valdarno, wo der Typ Cuomo di Caprio IIb am weitesten verbreitet zu sein scheint.⁴²⁵

13.6.2 Quellenkritik zu DeLaine 1992

In Ergänzung der in den jeweiligen Kapiteln angesprochenen Angaben in den Arbeiten von DeLaine werden hier weitere Details der Dissertation 1992, die die Berechnungen zur Herstellung von *lateres* für die Thermen des Caracalla betreffen, im Sinne einer Quellenkritik aufgelistet und kommentiert.

1. Tägliche Arbeitszeit

19 Als tägliche Arbeitszeit werden 12 Stunden eingesetzt. Eine Erwähnung bzw. Berücksichtigung von Pausen, Wegezeiten etc. erfolgt dabei nicht. Dies unterstellt, dass ein Mitarbeiter mehr als 12 Stunden an seinem Arbeitsplatz aktiv tätig war. Die zusätzlich einzuplanenden Pausen und Wegezeiten (z. B. bei Unterbringung in einem nicht zur Ziegelei gehörenden Militärlager) würden dann leicht bis zu 14 und mehr Stunden Tätigkeit für einen Mitarbeiter bedeuten. Eine Überprüfung der Realität ist für die römische Zeit nicht möglich. Ein solch hoher Wert, der einer Produktion bzw. Produktionsanlage 20% mehr Leistung je Tag unterstellt als bei 10 Stunden, findet in der Literatur in historischen Handbüchern keine Verwendung.⁴²⁶

⁴²⁵ „Il tipo Cuomo di Caprio IIb, a pianta rettangolare e di grandi dimensioni, sembra essere il più diffuso.“

⁴²⁶ siehe hierzu auch Hurst 1865, Pegoretti 1863, Rea1902.

2. Bedarf an Brennmaterial

187 „Table 8 gives firing times and fuel consumption derived from the most complete figures available:

place	date	no. bricks or size of kiln	= no. Bes- sales	firing time hours	wood or wood = tonnes	wood/1000 bessales
Italy	1800s	65 cbm	52000	180	40	0,48
Stafford	1800s	8000	16000	36–38	6,2–7,1	0.39–0.44
Suffolk	1800s	50000	100000	60	44,5	0.45
Suffolk	1800s	35000	70000	40	21,8	0.31
Barton*	1960	0.79 cu.m	470	?	0.2	0.43
Italy	1960	5.78 cu.m	3500	12	1–6**	0.29–1.7

Tabelle 22 Ziegel-Brände (DeLaine 1992)

In der Tabelle sind Werte aus völlig verschiedenen Ziegelöfen aus dem 19. und 20. Jh. als gleich aussagefähig nebeneinandergestellt. Die beiden unteren stammen aus sehr kleinen Öfen, wie sie bei den römischen *tegulae* und *lateres* sicherlich nicht verwendet wurden und bei denen eine Übertragbarkeit des Brennvorganges auf die wesentlich größeren Öfen technologisch zumindest bedenklich ist. Die anderen Angaben beziehen sich auf Produktionsverhältnisse im 19. Jh. mit anderen Ziegeltypen – und vermutlich Öfen: Beispielsweise war zu dieser Zeit schon der Hoffmannsche Ringofen – eine energieeffiziente Technik zum Brennen neuzeitlicher Mauerziegel – im Einsatz. Werte dieser Technik bzw. Epoche auf römische Verhältnisse zu übertragen führt zu falschen Annahmen, d. h., es werden vermutlich erheblich zu niedrige Energiebedarfe unterstellt. Außerdem fehlen die für eine Vergleichbarkeit des Energiebedarfes notwendigen Angaben zu Holzarten, Trocknungsgraden, Heizwerten etc.

3. Saison für das Ziegelherstellen

188 Länge der Brennsaison „firing season“: 180 Tage von Mitte April bis Mitte Oktober; ein Bezug bzw. eine Stellungnahme zu Vitruv (Kap. 13.5.2), dass die Sommermonate nicht für das Ziegelherstellen in Italien geeignet sind, erfolgt nicht; ie Verhältnisse aus den NW-Provinzen werden unkommentiert in den Mittelmeerraum übertragen; auch die Zeit für das Trocknen der Rohlinge (28 Tage).

4. Mannstunden für das Herstellen von *lateres*

188 Als Ofen wird angenommen: $5 \times 5 \times 3 \text{ m}$ ($= 75 \text{ m}^3$); mit 71 % Füllgrad sind dann 53 m^3 Befüllung möglich⁴²⁷.

„then the production figures for a kiln loa of the various items can be calculated (Table 9, below)“:

Item	no.	Vol.	Man-days	Man-days	Man-days	Man-days	Man-days	Total
	000s	cu. m	Quarry	Make	Stack	Load	Fire	Mdays
<i>bessales</i>	54	59	90	49	24	30	31	224
<i>bipedales</i>	5.4	60	98	25	19	24	28	194
<i>sesquiped.</i>	9	55	90	23	16	20	26	175
<i>tubuli</i>	16	42	69	53	14	18	25	179

Tabelle 23 Ziegelproduktion (DeLaine 1992)

Durch Rückrechnung der Dicke aus den Angaben Vol. in cu. m, der genormten Größen für *bessales* ($20 \times 20 \text{ cm}$), *bipedales* ($60 \times 60 \text{ cm}$) und *sesquipedales* ($44 \times 44 \text{ cm}$) und den Mengen ergeben sich folgende Werte: 2,7 cm, 3,1 cm und 3,2 cm. Insbesondere der geringe Wert von 3,1 cm für die relativ großen *bipedalis* ist auffällig. Warum dieser sehr dünne Typ ausgewählt wurde, ist unkommentiert. Für das „Make“ lassen sich je Stück folgende Zeit-Werte ermitteln:

bessales 0,7 Mmin
bipedales 3,3 Mmin
sesquipedales 1,8 Mmin

Demnach würde 1 Mitarbeiter beispielsweise für eine *bipedalis* das Lehmaufbereiten, das Lehmantransportieren, das Formen und andere Nebenarbeiten hierzu in 3,3 Minuten (als Dauerleistung und ohne fremde Hilfe) realisieren können; eine Aussage, wie der zugehörige Arbeitsablauf der dazu nötigen, hocheffizienten Fertigungstechnik sein soll, wird nicht gemacht. Bei Verwendung von üblichen Modellen erscheint dies unmöglich. Auch ein Vergleich der spezifischen Werte je Stück (Ziegel) auf der Basis der Gesamtwerte ergibt eine unrealistische Relation:

In den Caracalla-Thermen wurden nach DeLaine 1992, 319 Table 21 9,83 Mio Ziegel (6,64 Mio *bessales*, 1,28 Mio *sesquipedales*, 1,91 Mio *bipedales*) verbaut. Dafür könnten

⁴²⁷ Die Höhe wird von Öfen aus dem 19. Jh. in England und Holland abgeleitet; dabei wird jedoch nicht berücksichtigt, dass die Produkte dieser Epoche, i. d. R. Mauersteine mit erheblich anderen Abmessungen (geringere Flächen, größere Dicken), eine andere Stapelbarkeit als die relativ dünnen römischen Ziegel ermöglichen.

nicht mehr als 500 oder 600 Mann nötig gewesen sein.⁴²⁸ Bei 220 AT/Jahr ergibt dies 110.000 MT – 132.000 MT.⁴²⁹ Daraus läßt sich ein durchschnittlicher Personalaufwand für den gewählten Produktmix in Höhe von nur 6,7 – 8 Mmin je Stück für sämtliche in der Ziegelei anfallende Arbeiten (von der Lehmaufbereitung über das Formen und Brennen bis zum Ziegellager und alle Nebenarbeiten!) ermitteln – ein eher unwahrscheinlicher Wert, da bereits die Aktivität Formen einen Personalbedarf in dieser Größenordnung erfordert.

Der vergleichbare, in der vorliegenden Arbeit auf der Basis des Personalbedarfs je Aktivität mit nachvollziehbaren Datenquellen berechnete, Wert beträgt dagegen 52 Mmin. Weitere, detaillierte Abgleiche mit den Daten und Rechnungen von DeLaine sind wegen der dort gegebenen Intransparenz nicht möglich. Einzelne Inplausibilitäten der Arbeit konnten jedoch bereits in den o. g. Betrachtungen angesprochen werden.

Darüberhinaus entfällt generell jegliche Vergleichbarkeit mit Daten, die in den Arbeiten von DeLaine auf der Basis oder als Zitat von Preisen angegeben sind. Preise sind in Zahlen dargestellte Tauschwerte und kein Maßstab für Personaleinsätze (siehe dazu auch Kap. 11.5.7).

⁴²⁸ DeLaine 1992, 360 „The production of brick and lime may not have required many more than 500 or 600 men each ...“

⁴²⁹ 220 AT/Jahr aus: DeLaine 1992, 18 – DeLaine bestätigt diese Dimension (um ca. 100.000 MT) in der überarbeiteten Dissertation von 1997 (DeLaine 1997, 127, Table 12) mit „75,5 unskilled + 30,4 skilled 000s man-days“ = 105.900 MT; ein Wert, der in der gleichen Größenordnung liegt. Eine detaillierte Analyse der Herleitung dieser Werte lassen die Datenangaben in den Arbeiten von DeLaine nicht zu.