



Rekonstruktion von Betriebsmodellen antiker Produktionsanlagen mit Hilfe von Prozessketten-Analysen

Methodik und Fallstudien bei der Ziegelherstellung,
Brennholzgewinnung und den Transporten in römischer Zeit

Heinz Sperling

Heinz Sperling | Rekonstruktion von Betriebsmodellen antiker Produktionsanlagen
mit Hilfe von Prozessketten-Analysen

Heinz Sperling

**Rekonstruktion von Betriebsmodellen
antiker Produktionsanlagen mit Hilfe
von Prozessketten-Analysen**

Methodik und Fallstudien
bei der Ziegelherstellung, Brennholzgewinnung
und den Transporten in römischer Zeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist unter der Creative Commons-Lizenz 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0) veröffentlicht.

Propylaeum

FACHINFORMATIONSDIENST
ALTERTUMSWISSENSCHAFTEN

Publiziert bei Propylaeum,
Universitätsbibliothek Heidelberg 2020.

Diese Publikation ist auf <https://www.propylaeum.de> dauerhaft frei verfügbar (Open Access).

urn: [urn:nbn:de:bsz:16-propylaeum-ebook-625-3](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:16-propylaeum-ebook-625-3)

doi: <https://doi.org/10.11588/propylaeum.625>

Text © 2020, Heinz Sperling

Umschlagillustration: © Heinz Sperling

ISBN 978-3-948465-23-0 (PDF)

Inhalt

1	Vorwort – Danksagung	8
2	Einleitung – Problemstellung	10
3	Rekonstruktion – Betriebsmodelle – Prozesskettenanalyse	14
3.1	Rekonstruktion	14
3.2	Betriebsmodelle	14
3.3	Prozesskettenanalyse	15
3.4	Daten	17
4	Auswahl betrachteter Zeitepoche, Regionen und Branchen	19
5	Vergleichbare Untersuchungsansätze (Forschungsgeschichte)	24
6	Vorgehensweise	38
7	Ziegelherstellung	41
7.1	Keramische Baumaterialien	41
7.2	Ziegelformen	42
7.2.1	Dachziegel <i>tegulae – imbrices</i>	43
7.2.2	Ziegelplatten <i>lateres</i>	46
7.2.3	weitere Formen	48
7.3	Allgemeines zur Produktion von Baukeramik	49
7.4	Archäologische Befunde	54
7.5	Prozessketten	55
7.6	Aktivitäten	58
7.6.1	Lehm abbauen	59
7.6.2	Lehm aufbereiten/Formen vorbereiten	61
7.6.3	Ziegel formen	62
7.6.4	Ziegel trocknen	65
7.6.5	Brennen	66
7.6.6	Ziegel lagern	72
7.6.7	Weitere Aktivitäten	73
8	Brennholz	75
8.1	Bestände	76
8.2	Gewinnung	82
9	Transporte	86
9.1	Verkehrsleistungen	87
9.2	Be- und Entladen	91

10	Weitere Daten/Berechnungsarten	92
11	Rekonstruktion Betriebsmodelle	96
11.1	Fallstudie Dormagen	96
11.1.1	Befund	96
11.1.2	Brennöfen	99
11.1.3	Produkte	101
11.1.4	Mögliche Chargengrößen	102
11.1.5	Zeitbedarf für das Formen je Charge	104
11.1.6	Dauer eines Brandes	105
11.1.7	Anzahl benötigter Formplätze	106
11.1.8	Lagerfläche für die Trocknung	106
11.1.9	Ablauf und Personalbedarf	107
11.1.10	Mögliches Jahresprogramm der Ziegelei	111
11.1.11	Brennmaterial	112
11.1.12	Externe Transporte	114
11.1.13	Trocken- oder Produktionshalle	118
11.1.14	Zusammenfassung Dormagen	119
11.2	Fallstudie Ofen mit 15 m ³ Brennkammer	123
11.2.1	Mögliche Chargengrößen	124
11.2.2	Zeitbedarf für das Formen je Charge	124
11.2.3	Dauer eines Brandes	125
11.2.4	Anzahl benötigter Formplätze	126
11.2.5	Benötigte Lagerfläche für die Trocknung	126
11.2.6	Ablauf	126
11.2.7	Personalbedarf	127
11.2.8	Mögliches Jahresprogramm der Ziegelei	129
11.2.9	Zusammenfassung 15 m ³ Ofen	129
11.3	Fallstudie kleiner Ofen 5 m ³ Brennkammer	130
11.4	Fallstudie Herstellung Ziegel für Handwerkerhäuser in Xanten	131
11.5	Fallstudie „Ziegel für Rom“ – Übertragbarkeit des Modells in andere Regionen	132
11.5.1	Ziegelformate	133
11.5.2	Prozesskette und Einzelaktivitäten	133
11.5.3	Ofentypen/-größe, -Standorte	133
11.5.4	Betriebsmodelle	136
11.5.5	Brennholzgewinnung	137
11.5.6	Transporte	138
11.5.7	Beispielrechnung – Ziegel für die Caracalla-Thermen	138
11.5.8	Zusammenfassung „Ziegel für Rom“	144
12	Zusammenfassung	147

13	Anhang	151
13.1	Produkte je Branche – Herstellungsprozesse – Einsatzstoffe etc.	151
13.2	Informationen/Quellen zu den Aktivitäten	154
13.2.1	Lehm abbauen	154
13.2.2	Lehm aufbereiten/Formen vorbereiten	159
13.2.3	Ziegel formen	160
13.2.4	Ziegel trocknen	169
13.2.5	Brennen: Ofen füllen – Ziegel brennen – Ofen abkühlen – Ofen leeren	173
13.2.6	Ziegel lagern und weitere Aktivitäten	196
13.3	Brennholz	199
13.3.1	Bestand	199
13.3.2	Gewinnung	202
13.4	Transporte	213
13.4.1	Allgemeines	213
13.4.2	Intern	214
13.4.3	Extern	215
13.4.4	Relationen der Transportarten zueinander	227
13.4.5	Be- und Entladen	228
13.5	Weitere Daten/Berechnungsarten	230
13.5.1	Tägliche Arbeitszeit	230
13.5.2	Jahresarbeitszeit/Saison	233
13.6	Ziegelproduktion für Rom	236
13.6.1	Standorte	236
13.6.2	Quellenkritik zu DeLaine 1992	243
14	Abkürzungen – Begriffe – Einheiten	247
15	Listen der Abbildungen und Tabellen	251
15.1	Abbildungen	251
15.2	Abbildungsnachweis	253
15.3	Tabellen	255
15.4	Tabellennachweis	256
16	Literaturverzeichnis	258
16.1	Literaturnachweise	258
16.2	Internetquellen.....	270
16.2.1	Online-Publikationen	270
16.2.2	Links	272
16.3	Korrespondenz/lokale Recherchen/Vorträge	275
16.3.1	Korrespondenz	275
16.3.2	Lokale Recherchen	275
16.3.3	Vorträge	276

1 Vorwort – Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist die überarbeitete Version meiner am 18. August 2018 an der Universität zu Köln eingereichten und angenommenen Dissertation (Tag der mündlichen Prüfung 1.2.2019). Sie weicht inhaltlich nicht davon ab, sondern enthält lediglich einige mathematische Anpassungen und partielle Optimierungen im textlichen Teil.

Die spannende Idee, archäologische Befunde mit einer Studie zu Arbeitsabläufen zu verknüpfen und damit das Betriebsgeschehen in der Antike nachzuempfinden, ist im Zusammenhang mit einer Grabung des archäologischen Instituts der Universität zu Köln an einem Eisenverhüttungsplatz in der Eifel entstanden. Dabei wurde im Rahmen meiner Masterarbeit erprobt, ob es möglich sein würde, für eine bestimmte Technologie (Einsatz von Rennöfen zur Eisenverhüttung) herauszufinden, mit welchen Ressourcen welche Mengen in welchem Zeitraum produzierbar gewesen sein könnten. Nach diesem Versuch für ein interdisziplinäres Vorgehen zur quantitativen Bewertung von Befunden entstand auf Initiative von Professor Dr. Heinzelmann die hier vorgelegte Ausweitung und Vertiefung eines solchen Ansatzes. Außerdem ist es ihm zu verdanken, dass diese Studie im Status einer assoziierten Mitgliedschaft im Graduiertenkolleg 1878 „Archäologie vormoderner Wirtschaftsräume“ an den Universitäten Köln und Bonn angefertigt werden konnte. Für seine engagierte und von großem Interesse getragene Betreuung danke ich ihm sehr.

Professor Dr. Schenk vom Lehrstuhl für historische Geographie an der Universität Bonn übernahm freundlicherweise die Zweitbetreuung der Arbeit. Dafür, und für sein Interesse an dieser auch für sein Fachgebiet relevanten Studie bedanke ich mich ebenfalls.

Von Professor Dr. Zimmermann, Emeritus des Institutes für Ur- und Frühgeschichte der Universität zu Köln, habe ich in einer frühen Phase meines Archäologiestudiums in einem Seminar erfahren dürfen, welche Möglichkeiten sich beim Einsatz quantitativer Methoden in der Archäologie ergeben. Danke an ihn für seine Zusage als Drittbetreuer meiner Arbeit.

Im Rahmen meiner Recherchen erfuhr ich vielfältige, offene und hilfreiche Unterstützung. Hier sind insbesondere zu nennen:

Herr Holger Bönisch in Beilrode für vertiefende Angaben zu seinen Arbeiten an historischen Ziegelöfen; Dr. Andreas Immenkamp LWL Industriemuseum Lage für die Unterlagen zu den Brennversuchen mit dem rekonstruierten Ofen aus dem Befund in Dormagen; Herr Edgar Kroymann vom Landesbetrieb Wald und Holz NRW RFA Hocheifel-Zülpicher Börde in Rheinbach, der mir bei der Beschaffung von Bestandsdaten geholfen und mir Zugang zu einem Reisigbündeler in der Osteifel ermöglicht hat; die Herren Keller (Ziegelmeister) und Stiesch (Leiter eines Brennversuches) vom LWL Industriemuseum Lage für Gespräche und Erläuterungen im Zusammenhang mit Versuchen im

Museum Lage; Herrn Dr. Peter Kienzle in Xanten für die Überlassung seiner Korrespondenz mit dem Ziegelfabrikanten im Zusammenhang mit der Bedachung der rekonstruierten Handwerkerhäuser; Herrn Ruppert vom Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik für die Informationen zur Holzgewinnung mit Äxten.

Ihnen allen gilt mein ganz herzliches: Danke

2 Einleitung – Problemstellung

„To confine our studies to mere antiquities is like reading by candle-light at noon-day.“¹
ergo:

„Calculemus“²

Grabungsergebnisse mit baulichen Befunden von Produktionsanlagen oder Halden mit Abfall oder Fehlchargen führen nach der Klärung der typologischen und zeitlichen Zuordnung häufig schnell zu den Fragen:

Wie viele Menschen waren hier beschäftigt?

Welche Produktionsleistung konnte erbracht werden?

Welche Mengen an Ressourcen wurden verbraucht?

Welche wirtschaftliche Bedeutung kam diesem Fundplatz zu?

Die Befunde allein liefern dazu meist keine eindeutigen Antworten, sondern lediglich Informationssegmente, wie Ofenabmessungen, am Ort verbliebene Produkte etc.

Werden diese Daten jedoch mit physikalischen und arbeitsorganisatorischen Zusammenhängen aus der vor Ort vorgefundenen oder anzunehmenden Technologie verknüpft, entsteht die Möglichkeit, lokale Betriebsmodelle zu rekonstruieren, mit Hilfe derer Aussagen zu diesen Fragen möglich werden.

Das dazu notwendige Quantifizieren solcher Betriebsmodelle wird wesentlich durch das Beschreiben und Quantifizieren der zugehörigen Prozessketten für die Produktionsprozesse getragen. Prozessketten bestehen aus Einzelaktivitäten und deren Verknüpfungen miteinander.³

¹ Wilson 1861, S. XiX.

² Leibnitz, G. W., „Das einzige Mittel, unsere Schlussfolgerungen zu verbessern, ist, sie ebenso anschaulich zu machen, wie es die der Mathematiker sind, derart, dass man seinen Irrtum mit den Augen findet und, wenn es Streitigkeiten unter Leuten gibt, man nur zu sagen braucht: Rechnen wir! ohne eine weitere Förmlichkeit, um zu sehen, wer Recht hat.“ zitiert nach Berka – Kreiser 1986, 17.

³ Produktionsprozesse sind eine Teilmenge der in einem Unternehmen ablaufenden Geschäftsprozesse. Schwickert-Fischer 1996, 11 geben folgende allgemeine Definition für den Begriff Geschäftsprozeß:
„Der Prozeß (i. e. Geschäftsprozess) ist eine logisch zusammenhängende Kette von Teilprozessen, die auf das Erreichen eines bestimmten Zieles ausgerichtet sind. Ausgelöst durch ein definiertes Ereignis wird ein Input durch Einsatz materieller und immaterieller Güter unter Beachtung bestimmter Regeln und der verschiedenen unternehmensinternen und externen Faktoren zu einem Output transformiert. Der Prozeß ist in

Dieses Abbilden von Prozessketten und deren Analyse ist eine Methode, die in der heutigen Betriebswirtschaft eine sehr bedeutende Rolle bei der Planung und Abwicklung der betrieblichen Aktivitäten spielt. Dazu werden umfangreiche IT-gestützte Systeme eingesetzt.⁴

Ein solches Vorgehen bietet die Chance, moderne Strukturierungsverfahren zur Analyse, Beschreibung und Bewertung antiker Produktionsprozesse und -stätten nutzbar zu machen. Voraussetzung hierfür ist, dass die antiken Technologien und Abläufe heute realitätsnah und quantifizierbar nachempfunden werden können – oder sogar heutzutage noch angewendet werden.

Dies ist nicht für alle Branchen der antiken Wirtschaft in gleichem Maße möglich: Für die jahrhundertlang nahezu unveränderte Ziegelherstellung unter der Verwendung von Brennöfen erscheinen konkrete Aussagen eher möglich als beispielsweise für das Bauen von Fahrzeugen oder Häusern mit ihren vielfältigeren und wesentlich komplexeren Inhalten und Abläufen.

Es wurden deshalb vor der Anwendung der Methode für die Ziegelherstellung auch andere wichtige Branchen und Prozesse der antiken Produktionswirtschaft hinsichtlich ihres Aussagepotentials für eine Prozessketten-Analyse bewertet. So sollte zum einen geprüft werden, ob die getroffene Auswahl erfolgversprechend sein könnte und zum anderen, welche Branchen nach einer erfolgreichen Erprobung ebenfalls hohes Potential für Untersuchungen dieser Art bieten.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, unter diesen Voraussetzungen ein modernes Analyseverfahren für Aussagen zu antiken Produktionen zu nutzen und daraus Betriebsmodelle zu entwickeln, die quantitative Angaben zu möglichen Produktionsmengen, benötigten Ressourcen und dem dazu notwendigen Personalbedarf liefern können.

Die benötigten Daten stammen aus verschiedenen Disziplinen und Arbeitsfeldern: Neben archäologischen Größen, wie z. B. bauliche Befunde und Produktabmessungen von Fundstücken, werden physikalische und verfahrenstechnische Größen ebenso verwendet wie arbeitsorganisatorische Werte und Abschätzungen sowie Messwerte aus Versuchen und Experimenten.

Daten, Informationen und Prozessketten werden als Rechenmodelle aufgearbeitet und dargestellt; d. h. es werden Algorithmen für die Einzelaktivitäten und deren Verknüpfungen generiert. Darin können jederzeit einzelne Parameter und Verbindungen flexibel abgeändert werden – beispielsweise zur Analyse mehrerer Varianten, zum Einarbeiten

ein System von umliegenden Prozessen eingliedert, kann jedoch als eine selbständige, von anderen Prozessen isolierte Einheit, die unabhängig von Abteilungs- und Funktionsgrenzen ist, betrachtet werden.“ Nach DIN 66201 ist ein Prozeß „eine Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System durch die Materie, Energie oder Information umgeformt oder gespeichert wird.“ (<https://www4.informatik.uni-erlangen.de/DE/Lehre/WS04/V_PA/Skript/Kap1.ppt.pdf> (14.06.2018).

⁴ z. B.: <<https://mindsquare.de/knowhow/sap-business-process-management/>> (14.06.2018).

neuerer technischer oder arbeitsorganisatorischer Erkenntnisse oder zum Anpassen an besondere lokale Gegebenheiten: Die Prozessketten und die Modelle sind keine starren Instrumente, weder bezüglich der Daten noch der Abläufe; sie sind leicht anzupassende Erklärungs- und Beschreibungshilfen. Letztlich stellt das Vorhaben einen breiten interdisziplinären Ansatz zur systematischen und systemunterstützten Beurteilung von archäologischen Befunden dar.

Eine exakte zeitliche Abgrenzung der Betrachtungen, z. B. für nur eine Epoche der antiken Welt wurde dabei nicht gewählt; gleichwohl wurde mit Befunden aus den römischen Nordwest-Provinzen⁵ gearbeitet und somit zunächst als Betrachtungszeitraum die Zeit der römischen Herrschaft über diese Gebiete verwendet. Da aber die Produktionsprozesse in ihrer Technologie und mit ihren Abläufen z. T. über viele Jahrhunderte – vor und nach dieser Zeit – praktiziert wurden, sollte die Aussagekraft der Ergebnisse auch für andere Epochen und Regionen eine gewisse Reichweite haben.

Die Herstellung von Baukeramik versprach dazu wegen ihrer geographisch weiten Verbreitung und wirtschaftlich großen Bedeutung in den NW-Provinzen vielversprechendes Potential. Zusätzlich wurden Prozesse zur Gewinnung von Brennholz und das Transportieren der Waren von und zum Produktionsort betrachtet und quantifiziert, um auch diese für die Ziegelherstellung essentiellen Bereiche einzubinden.

Auf der Basis dieser Aussagen zu den NW-Provinzen wurden anschließend Betrachtungen zur Produktion von Ziegeln für Bauwerke in Rom angestellt. Dabei war zu prüfen, inwieweit die gefundenen Modelle eine Übertragbarkeit auf die dortige Situation zulassen würden.

Insgesamt gesehen stellt die vorliegende Arbeit also einen Beitrag zur Wirtschaftsarchäologie im Sinne der Definition von Recker – Schefzik dar: „Wirtschaftsarchäologie beschäftigt sich ausgehend von archäologischen Quellen mit der Erforschung der Elemente, allgemeinen Strukturen und spezifischen Handlungsmustern menschlichen Wirtschaftens in der Vergangenheit sowie der Darstellung der sich daraus ergebenden Interdependenzen, Interaktionen und Dynamik. Wirtschaftsarchäologie ist eine zwingend interdisziplinär arbeitende Kulturwissenschaft. Unter Wirtschaftsarchäologie ist somit die fächerübergreifende Auseinandersetzung mit dem wirtschaftlichen Handeln des Menschen in seiner Gesamtheit und mit dessen Folgen zu allen Zeiten zu verstehen. Im Gegensatz zu anderen Richtungen der archäologischen Forschung stehen dabei nicht allein die materiellen Hinterlassenschaften im Vordergrund. Das Interesse gilt allen Quellengruppen, die geeignet sind, eine konkrete Anschauung vom Arbeiten und Wirtschaften in der Vergangenheit sowie deren Aus- und Wechselwirkungen mit der Umwelt und der Gesellschaft ermöglichen. Dabei ist besonders der Stellenwert von Rohstoff- und Energiegewinnung sowie der damit in Zusammenhang stehenden Tätigkeiten im Gesamtwirtschaftssystem unterschiedlicher Perioden zu erforschen. Die Verzahnung der

⁵ nachf. abgekürzt: NW-Provinzen.

archäologischen Methoden mit Forschungsansätzen und Arbeitsweisen anderer kultur- und naturwissenschaftlicher Disziplinen ist eine unumgängliche Voraussetzung für wirtschaftsarchäologische Forschungen.“⁶

⁶ Recker – Schefzik 2006, 268.

3 Rekonstruktion – Betriebsmodelle – Prozesskettenanalyse

Zu Definitionen und Inhalten dieser Begriffe wird auf moderne Standardwerke zurückgegriffen. Sie werden zur Abgrenzung und Charakterisierung der methodischen Schritte herangezogen. Vergleichbare Angaben aus der Antike liegen nicht vor.

3.1 Rekonstruktion

Der Duden bezeichnet Rekonstruktion als „Das Wiederherstellen, Nachbilden (des ursprünglichen Zustandes von etwas).“⁷ Diese allgemein gehaltene Definition beschreibt exakt das Vorhaben des vorliegenden Projektes: eine Nachbildung von Zuständen in der Antike.

3.2 Betriebsmodelle

Ein Modell im Bereich Wirtschaftswissenschaften beinhaltet nach Brockhaus ein „konstruiertes, vereinfachtes Abbild des realen Wirtschaftsablaufs, zum Teil in mathematischer Formulierung.“⁸ Es hat nach dem Gabler Wirtschaftslexikon folgende „Charakterisierung: Anwendung/Zweck: Auf der Basis von Funktions-, Struktur- oder Verhaltensähnlichkeiten bzw. -analogien zu einem Original werden Modelle zum Zwecke speziell solcher Problemlösungen benutzt, deren Durchführung am Original nicht möglich oder zu aufwendig wäre. Ein Modell ist also eine Abstraktion des Originals.“⁹

Diese beiden Quellen liefern auch die Definitionen für den Begriff „Betrieb“. Demnach ist er eine „... Wirtschaftseinheit, in der Sachgüter oder Dienstleistungen produziert beziehungsweise bereitgestellt werden“¹⁰ und eine „... örtliche, technische und organisatorische Einheit zum Zwecke der Erstellung von Gütern und Dienstleistungen, charakterisiert durch einen räumlichen Zusammenhang und eine Organisation, „die auf die Regelung des Zusammenwirkens von Menschen und Menschen, Menschen und Sachen sowie von Sachen und Sachen im Hinblick auf gesetzte Ziele gerichtet ist.“¹¹

Die Zusammenfassung der beiden Begriffe zum Betriebsmodell beschreibt das Wirtschaftslexikon als:

⁷ <<http://www.duden.de/rechtschreibung/Rekonstruktion>> (14.05.2017).

⁸ Brockhaus 2017a.

⁹ <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/495/modell-v11.html>> (14.5.2017).

¹⁰ Brockhaus 2017b.

¹¹ <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/326/betrieb-v15.html>> (14.05.2017).

„1. *Begriff*: Spezielles Input-/Output-Modell, das innerbetriebliche Abhängigkeiten formal in Strukturmatrizen abbildet.

2. *Merkmale*: Die erfassten Abhängigkeiten zwischen Erzeugung, Werkstoffeinsatz, Verarbeitungszeiten und Verarbeitungskosten werden in linearen Verbrauchsfunktionen dargestellt.“¹²

Schwerpunkt dieser eher betriebswirtschaftlich, kostenorientierten Definition und Methodik sind die innerbetrieblichen Abhängigkeiten. Diese stehen auch hier im Vordergrund. Darauf aufbauend erfolgt die Beschreibung und Quantifizierung der betrieblichen Anlagen- und Personalressourcen. Die ebenfalls genannten Elemente Input-/Output-Modell, Strukturmatrizen und linearen Verbrauchsfunktionen nennen Methodiken mit eher kostenorientierten Inhalten und werden nicht zuletzt wegen fehlender Kostenrelationsgrößen für die Antike nicht verwendet.

Betriebsmodelle heutiger Betriebe bzw. aus der Zeit zu Beginn der Industrialisierung können zwar nicht unmittelbar übernommen werden; sie können jedoch wesentliche verfahrens- und ablauftechnische Informationen zur Herstellung von Produkten in der Antike liefern und zeigen die für die Analyse der antiken Prozessketten wichtigen Parameter. Insofern stellen beispielsweise Beschreibungen von Handziegeleien im 19. Jh. wichtige Quellen für Prozessketten und Betriebsmodelle dar.

3.3 Prozesskettenanalyse

„Unter ‚Analyse‘ wird eine noch wertneutrale Untersuchung des IST-Zustandes verstanden. Der Begriff wird auch im Sinn von ordnen, sortieren oder aufbereiten verwendet, wobei es auch hierbei um eine reine Bestandsaufnahme geht. Grundsätzlich kann alles das analysiert werden, was man bei Prozessen ‚zählen, messen, wiegen kann‘.“¹³ Gemäß dieser Definition wurde auch in der vorliegenden Arbeit vorgegangen.¹⁴

¹² <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4404/betriebsmodell-v8.html>> (14.05.2017).

¹³ Fischermanns 2012, 220.

¹⁴ Die moderne Prozessketten- (oder Prozess-) Analyse – ein wesentlicher Teil des Prozessmanagements in einem Betrieb – geht über diesen Ansatz hinaus. Sie umfasst neben der reinen Beschreibung von Aktivitäten, Aufgaben (siehe auch Fischermanns 2012, 17 „Aufgaben sind dauerhaft wirkende Aufforderungen, etwas Bestimmtes zu tun. Aufgaben sind nur vollständig beschrieben, wenn Objekt (woran) und Verrichtung (was) beschrieben werden.“) und deren Verknüpfung insbesondere die Wertschöpfung (a. a. O. 15, „... muss ein Prozess definitionsgemäß wertschöpfend sein, d. h. einen Nutzen für den Kunden bringen.“) in einem Unternehmen. Die dazu notwendige Quantifizierung von Mengen und Zeiten,

Die dabei praktizierte Vorgehensweise bei der Darstellung des Ist-Zustandes – nicht dessen Optimierung – wird nachfolgend als Methodik zur Rekonstruktion antiker Produktionsprozesse verwendet.

Für ausgewählte Prozesse werden mögliche IST-Zustände erarbeitet, die dann für Betriebsstätten aus archäologischen Befunden modellhafte Simulationen zum lokalen Betriebsgeschehen ermöglichen und so die wirtschaftliche Bedeutung lokaler/regionaler Fertigungsstätten abschätzen lassen. Dazu ist es notwendig, für die ausgewählten Branchen und Güter die wahrscheinlich eingesetzten Technologien zu finden, die Aktivitäten der Prozesse aufzulisten und zu beschreiben sowie deren Verknüpfungen darzustellen. Zur besseren Übersichtlichkeit werden dabei die einzelnen Prozesse klar voneinander getrennt und vorhandene Prozessverknüpfungen in Form von Schnittstellen dargestellt. Beispielsweise wird das Gewinnen von Brennholz als eigenständige Prozesskette gesehen und nicht als Bestandteil der Prozesskette Ziegelherstellung bearbeitet.

Als Hilfsmittel zur graphischen Darstellung von Prozessketten werden in der Literatur meist recht einfach zu lesende Flussdiagramme folgender Arten verwendet:



Abbildung 1 Flussdiagramm – einfache Form (Fischermann 2012)

oder

von Material und Personal liefert die Basis für das Offenlegen und Optimieren des betrieblichen Wirtschaftens.

Diese Art von Prozessketten-Analyse bei Geschäftsprozessen antiker Produktionsabläufe weist Parallelen zu der von André Leroi-Gourhan (1911–1986) in die Archäologie eingeführten Methodik der „chaîne opératoire“ auf; aus Darvill 2008, 84: „Literally, operational sequence; the term was introduced by the French anthropologist Leroi-Gourhan in 1966 to provide a theory of technical processes in which technical acts were also social acts. In it he emphasized the importance of the human body as an expression and source of meaning, power, symbol, and action. The actions carried out in making something may, quite literally, speak louder than words or the message conveyed by the final product.“ Der Terminus beschreibt demnach ein methodisches Werkzeug zur Analyse eines technischen Prozesses und des „sozialen Handelns“ (siehe auch <http://soziologie-kompakt.de/w/Soziales_Handeln> (31.5.2017): „soziales Handeln ist ein von Max Weber geprägter Begriff, der das Handeln eines Akteurs beschreibt.“), wie sie in einer als Schrittfolge strukturierten Produktion vorkommen. Es wurde für Abläufe bei der Produktion von prähistorischen Steinartefakten entwickelt und diente dazu, über die Geschicklichkeit bei der Schrittfolge der Herstellung spezifische Aussagen über deren logische Besonderheiten zu finden. Die Strukturierung und Beschreibung von Tätigkeitsabfolgen wurden demnach dort in vergleichbarer Form, jedoch mit anderer Zielsetzung vorgenommen; außerdem erfolgten keine Quantifizierungen.

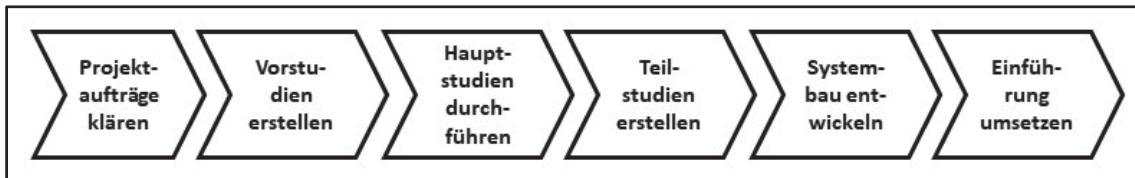


Abbildung 2 Flussdiagramm – Aktivitätenfolge (Fischermann 2012)¹⁵

Diese Aneinanderreihung von Kurzbezeichnungen der Aktivitäten (eingehamrt in Kästchen) wird in der vorliegenden Arbeit als eine übersichtliche, einfache graphische Form der Prozesskettendarstellung eingesetzt.

Aktivität definiert das Gabler Wirtschaftslexikon als „eine Kombination von Faktoreinsatzmengen (Inputs), die zu einer bestimmten Ausbringung (Output) führt.“¹⁶

Einsatzfaktoren¹⁷ bei den Aktivitäten in Produktionsprozessen in der Antike sind dabei Mitarbeiter, Materialien, technische Anlagen und Geräte; die hergestellten Produkte sind die Ausbringung.

3.4 Daten

Zur Rekonstruktion von Aktivitäten in antiken Produktionsprozessen stehen Daten sehr verschiedener Art und Herkunft zur Verfügung:

- Tabellen und Nachschlagewerke
physikalische Größen, wie spezifische Gewichte etc.
verfahrenstechnische Angaben, z. B. zu Brennvorgängen
Daten aus Experimenten, heutigen Produktionen und ethnologischen Vergleichen
Anlagengrößen, Zeiten, physikalische Messgrößen, etc.
- Informationen aus archäologischen Befunden
Anlagentypen, -abmessungen, Lagepläne, Produkte, Abfallhalden
- historische Quellen
Beschreibungen und Daten aus historischen Aufzeichnungen und Anleitungen

¹⁵ Fischermanns 2012, 12, 93.

¹⁶ <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/2738/aktivitaet-v6.html>> (1.6.2017).

¹⁷ Elementarfaktoren sind nach Gutenberg objektbezogene menschliche Arbeitskraft, Betriebsmittel und Werkstoffe (zitiert bei: <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/produktionsfaktoren.html>> (1.6.2017)).

- Schätzungen und Annahmen
Gewinnen von Zeitdaten durch Beschreiben, Vergleichen und Schätzen¹⁸, ähnlich dem im heutigen Industrial Engineering¹⁹ angewendeten Verfahren zur Gewinnung von Vorgabezeiten für Akkordarbeit²⁰
Annahmen, die, der jeweiligen Situation angepasst, plausibel erscheinen

Insgesamt wird damit für die Rekonstruktionen der Betriebsmodelle ein weit gespannter interdisziplinärer Ansatz gewählt. Generell wird bei der Datengewinnung nach dem Grundprinzip aus der Nikomachischen Ethik von Aristoteles verfahren: „Der geschulte Mann erstrebt in jedem Fachgebiet keine größere Genauigkeit, als das Wesen des Gegenstandes (vernünftigerweise) zulässt.“²¹ Demnach wird eine maximal mögliche Präzision angestrebt, die jedoch bezüglich Aufwand und Ertrag stets zu hinterfragen war.

Außerdem sind die Aufarbeitungen und Darstellungen der Daten sowie die Berechnungen so in Form von Excel-Tabellen angelegt, dass Anpassungen sehr einfach eingearbeitet werden können. Sie sind nach dem Konzept des „open source“²² angelegt. Zuschnitte auf spezifische neue Befunde sind dadurch gezielt möglich. Diese Flexibilität bei der Datenwirtschaft wird schon alleine auch deshalb notwendig, weil für die jeweiligen Modelle verschiedene Varianten berechenbar sein sollen, die ihrerseits verschiedene Datenkonstellationen erfordern. Auch sind Anpassungen aufgrund neuerer Erkenntnisse – und somit Optimierungen der Aussagequalität – leicht möglich.

¹⁸ REFA 1978, 276 „Schätzen ist das ungefähre Bestimmen von quantifizierbaren Daten. Kennzeichnend ist, dass man geschätzte Daten stets nachmessen kann.“

¹⁹ <<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/industrial-engineering/industrial-engineering.htm>> (01.06.2017) „Industrial Engineering“ besteht nach REFA in der Anwendung von Methoden und Erfahrungen zur Untersuchung und Gestaltung komplexer betrieblicher Zusammenhänge mit dem Ziel der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes.

²⁰ Diese Vorgehensweise wird in modernen Betrieben bei Nicht-Vorhandensein exakt ermittelter Daten allgemein verbindlich zur Ermittlung von Zeitwerten für die Entlohnung eingesetzt. (Grundlage hierfür ist die vom Verband REFA herausgegebenen Methodik. Sie beschreibt das seit vielen Jahrzehnten in solchen Fällen praktizierte Vorgehen. siehe auch <<http://refa-consulting.de/vergleichen-und-schaetzen>> (14.04.2017)). Die dabei unterstellte Validität des Verfahrens soll auch für die hier durchgeführten Betrachtungen an antiken Prozessen angenommen werden.

²¹ Krischer – Kast 1978, S VIII; siehe dazu auch: <<http://gutenberg.spiegel.de/buch/nikomachische-ethik-2361/3>> (12.09.2016), <<http://www.linke-buecher.de/texte/romane-etc/Aristoteles--Nikomachische%20Ethik.pdf>> 6–7 (01.06.2017).

²² <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/open-source-43032>> (26.05.2018) „open source“ bei IT-Programmen: „Konzept, nach dem Programme mit ihrem Quellcode ausgeliefert werden. Jeder darf den Quellcode einsehen und verändern.“ Details hierzu liefert: <<https://opensource.org/docs/osd>> (18.1.2018).

4 Auswahl betrachteter Zeitepoche, Regionen und Branchen

Für die Auswahl der Zeitepochen sind hier weniger exakte geschichtliche oder politische Begrenzungen, sondern vielmehr Zeitabschnitte mit relativ großer Technologiekonstanz der jeweiligen Produktionen im Fokus. Der Zeitraum des römischen Imperiums ab der frühen Kaiserzeit bildet den Ausgangspunkt und einen Orientierungsrahmen für die Betrachtungen. Dies gilt insbesondere zu den aus dieser Epoche herangezogenen archäologischen Befunden. Viele Produktionsprozesse wurden bereits vorher praktiziert und waren auch danach in Anwendung. Auf vertiefende spezifische Aspekte dazu wird bei der Betrachtung der einzelnen Branchen eingegangen.

Die regionale Abgrenzung erfolgt kongruent zur zeitlichen: Die römischen NW-Provinzen mit ihrem großen Bestand an Befunden aus dieser Zeit bieten einerseits einen gut erforschten Wirtschaftsraum und haben überdies klimatisch ähnliche Verhältnisse. Mögliche Einflüsse der Witterung auf Produktionsprozesse, z. B. durch Frost und Schnee können dadurch als für alle gleichermassen geltend angenommen werden. Gleichwohl wird man nach Rekonstruktion und Analyse der Prozesse für die NW-Provinzen auch Betrachtungen für Produktionen in mediterranen Produktionsstätten vornehmen können. Die klimaabhängigen Parameter der Prozesse sind dazu lediglich entsprechend anzupassen und einzuarbeiten. Da die Elemente der Prozesse und deren Verknüpfungen zu Ketten ohnehin detailliert zu beschreiben, zu quantifizieren und in flexiblen Modellen zusammenzufügen sind, ist eine Anpassung und Abänderung sehr leicht und übersichtlich möglich.

Die Auswahl der für eine Quantifizierung geeigneten antiken Produktionen bedingt einerseits eine Strukturierung und Abgrenzung der im Betrachtungszeitraum erfolgten wirtschaftlichen Aktivitäten und andererseits eine Bewertung der in diesen Aktivitäten vorzufindenden Prozessketten hinsichtlich ihrer Beschreibbarkeit und Nachvollziehbarkeit.

Zur Strukturierung wurde eine Gliederung in Branchen vorgenommen. Eine Branche ist nach dem Gabler Wirtschaftslexikon eine „Sammelbezeichnung für Unternehmen, die weitgehend substituierbare Produkte oder Dienstleistungen herstellen (heutzutage bspw. Automobilbranche, Elektronik, Pharmaindustrie)“²³.

²³< <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/branche.html#definition> > (20.09.2016).

Dabei stehen hier die produzierenden Gewerbe im Vordergrund – und davon wiederum die Gewinnung und Erzeugung von Halbzeugen und Bauelementen sowie von Einsatzstoffen.²⁴ Diese Produkte stehen am Anfang von Produktionsprozessketten und haben eher einheitliche Technologien und Arbeitsabläufe als die Fertigprodukte, wie beispielsweise Häuser und Kleidungsstücke. Dienstleistungen (außer das dem Produzieren nahestehende Transportieren) wurden wegen ihrer großen Vielfalt und Komplexität und kaum herstellbarem Bezug zu archäologischen Befunden für die hier auszuwählenden Prozessketten ebenfalls nicht berücksichtigt.

Folgende Branchen sind Inhalt dieser Strukturierung:

- Energie (Holzkohle, Kohle, Brennholz)
- Metalle
- Hausbau (Baustoffe)
- Transport
- Schiffbau (Baustoffe)
- Transportgeräte/-wagen (Bauteile)
- Straßenbau (Baustoffe)
- Stein
- Kleidung
- Militärbekleidung/Waffen
- Nahrungsmittel
- Salz
- Keramik
- Glas
- sonstige Handwerke

Zur Beschreibbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Produktionsprozesse in den Branchen sind in Tabelle 17 die jeweils möglichen Produkte, die Einsatzstoffe sowie mögliche Rohstoffquellen aufgelistet. Ebenfalls aufgeführt sind evtl. entstehender Abfall, Nebenprodukte, mögliche Fertigungsstätten in archäologischen Befunden und weitere Angaben zur Charakterisierung der Prozessketten.

Die auszuwählenden Prozesse sollten zur Vermeidung rein singulärer und nur lokal anwendbarer Aussagen folgende Anforderungen erfüllen:

- Technologie und Herstellungsverfahren werden lokal übergreifend eingesetzt
- die Produktvielfalt ist möglichst gering

²⁴ Kurz, u. a. 2009, 320 „Halbzeuge sind vorgefertigte Gegenstände und entstehen in einem der ersten Schritte im Herstellungsprozess eines Produktes. Sie sind der Oberbegriff dieser aus Bearbeitung von Materialien entstandenen Werkstücke wie beispielsweise Bleche, Stangen, Rohre, Platten und Coils.“

- die Anzahl der Varianten bei Technologie und Abläufen ist gering
- es existiert eine relativ große Anzahl von Fundstätten
- der Produktionsbereich ist relativ gut beforscht und es existiert eine Vielzahl von Literaturquellen

Ziel dieser Auflistung ist die Schaffung eines Grundgerüsts für eine sog. ABC-Analyse²⁵ zum Herausfiltern der am meisten Erfolg versprechenden Prozesse für eine Quantifizierung von Produktionskapazitäten, Personal- und Ressourceneinsatz, produzierten Mengen, Zeitbedarfe, etc.

Als wichtige Parameter hierfür wurden 4 Merkmale von Prozessketten ausgewählt:

- 1) Technologie und Abläufe: bekannt/rekonstruierbar
- 2) wenige Varianten in Technologie/Abläufen
- 3) Einzelaktivitäten bekannt/rekonstruierbar
- 4) Einzelaktivitäten quantifizierbar

Die qualitative Beurteilung der einzelnen Prozessketten ergab, dass nur bei wenigen Produkten alle 4 Merkmale in ausreichender Ausprägung vorzuliegen scheinen (A-Kategorie nach der ABC-Analyse).²⁶ Außerdem wurde deutlich, dass bereits das Fehlen eines der Merkmale eine erfolgreiche Rekonstruktion verhindern kann.

Die Ergebnisse für die ausgewählten Branchen

- 1) Produktion von Ziegeln und Dachziegeln (Hausbau)
- 2) Brennholzgewinnung (Energie)
- 3) Transport: manuell und mit Wagen

und die zugehörigen Prozesse sind in Tabelle 1 (Auszug aus Tabelle 17) dargestellt:

²⁵ nach Kurz, u. a. 2009, 320 Die ABC-Analyse ist eine betriebswirtschaftliche Methode zur Einteilung von Objekten in drei Kategorien (A, B oder C). Die Objekte werden mit einer für die Analyse relevanten Kenngröße beschrieben und dann nach dieser Kenngröße sortiert. Dadurch entsteht eine Liste, in der das wichtigste Objekt an erster Stelle steht (Element der A-Kategorie) und das unwichtigste Objekt an letzter Stelle (Element der C-Kategorie). Die Grenzen zwischen A-, B- und C-Kategorie werden im Einzelfall festgelegt. siehe auch <<http://www.business-wissen.de/hb/abc-analyse-am-beispiel-erklart/>> (20.09.2016).

²⁶ Auf eine Trennung der anderen Prozesse in Kategorie B oder C wurde hier verzichtet, da beide Klassen im Gegensatz zur Klasse A signifikant weniger erfolgversprechend erscheinen.

Produkte je Branche: Herstellprozesse - Einsatzstoffe - etc. (Auszug)									
Branche	Produkte	Einsatzstoff/ Rohstoff- quelle	Abfall/ Neben- produkte/ Fertigungs- stätten o.ä.	Prozessinhalt	Produkt- vielfalt	Prozesskette: Technologie/Abläufe			
						Technologie und Abläufe: bekannt/ rekonstruierbar	wenige Varianten in Technologie/ Abläufen	Einzel-aktivitäten bekannt/ rekonstruierbar	Einzel-aktivitäten quantifizierbar
						Legende: + = Aussagepotential hoch			
Hausbau (Baustoffe)									
Ziegel	lateres - tubuli - Mauerziegel u.a.	Lehm, Brennstoff, Wasser, Zusatzstoffe	Fehlbrände, Gewinnungs- /Fertigungs- anlagen	Rohstoffgewinnung, Formen und Brennen von keramischen Bauteilen	groß	+	+	+	+
Dachziegel	tegulae - imbrices	Lehm, Brennstoff, Wasser, Zusatzstoffe	Fehlbrände, Gewinnungs- /Fertigungs- anlagen	Rohstoffgewinnung, Formen und Brennen von keramischen Bauteilen	klein	+	+	+	+
Energie									
Brennholz	Holzscheite/ Äste/Reisig	Äste/Bäume		Fällen und Zerkleinern von Bäumen und Sträuchern	groß	+	-	+	+
Transport (Dienstleistung)									
manuell	Transportarbeit	Mitarbeiter		Gütertransport	klein	+	+	+	+
Lasttiere	Transportarbeit	versch. Lasttiere		Gütertransport	klein	+	+	+	+
Karren/Wagen manuell	Transportarbeit	Mitarbeiter, Wagen, Karren		Gütertransport	klein	+	+	+	+
Karren/Wagen Zugtiere	Transportarbeit	versch. Lasttiere, Mitarbeiter, Wagen, Karren		Gütertransport	klein	+	+	+	+

Tabelle 1 Ausgewählte Branchen

Legende:

Produkte: Output des Produktionsprozesses

Einsatzstoff/Rohstoffquelle/Ressource: Input des Produktionsprozesses

Abfall/Nebenprodukte: Stoffe und Produkte, die neben dem herzustellenden Produkt beim Produktionsprozess anfallen können

Fertigungsstätten: Orte, an den produziert wird (z. B. Befunde mit Öfen und Hallen für die Ziegelproduktion)

Technologie und Abläufe bekannt, rekonstruierbar: Die technischen Prozessabläufe sind bekannt (z. B. gängige Praxis bis in heutige Tage oder aus ethnologischen Berichten) und damit rekonstruierbar

wenige Varianten in Technologie/Abläufen: Technologie und Abläufe sind technisch bedingt nur in sehr wenigen Varianten möglich

Einzelaktivitäten bekannt/rekonstruierbar: Die einzelnen Aktivitäten der Prozesskette sind konkret und beschreib- und reproduzierbar

Einzelaktivitäten quantifizierbar: Für die Aktivität können die eingesetzten Mengen und Erträge in kg, l, Mannstunden etc. bemessen werden

In dieser Auswahl ist die wirtschaftliche und technologische Verknüpfung dieser drei Branchen miteinander abgebildet. Zwar liegen zur Brennholzgewinnung in der Regel wenig archäologische Befunde vor und auch die Varianten bei der Technologie können durchaus vielfältig sein, aber die Bedeutung des Brennmaterials bei der Ziegelproduktion

lässt die Notwendigkeit erkennen, mithilfe eines Modells den Aufwand für dessen Gewinnung quantitativ abschätzbar zu machen.²⁷

Dies gilt auch für die Transporte, sowohl für den Antransport der eingesetzten Ressourcen als auch für das Abtransportieren der hergestellten Waren. Die drei Branchen stellen die wesentlichen Elemente eines Wirtschaftssystems „Herstellen und Vertreiben von Baukeramik“, für das hier Betriebsmodelle rekonstruiert werden.

²⁷ Dies wird u. a. in Berichten über spätere (manuelle) Ziegelproduktionen deutlich: „Over het algemeen koste de brandstof meer dan het arbeidsloon van de steenbakker en zijn helpers.“ (Hollestelle 1961, 44)

5 Vergleichbare Untersuchungsansätze (Forschungsgeschichte)

Am zahlreichsten wurden in der Vergangenheit Studien mit ähnlicher Methodik wie in der vorliegenden Arbeit für den Bereich der Ziegelproduktion vorgelegt. Die meisten davon wurden in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts erstellt.²⁸

Ziegel sind als Fundgattung bei keramischen Baumaterialien seit vielen Jahrzehnten Gegenstand der archäologischen Forschung. Dabei stehen sehr häufig die Eindrücke auf den Objekten, wie beispielsweise Stempel oder Tierpfoten im Mittelpunkt. Insbesondere die Stempel werden in großem Umfang für eine Vielzahl archäologischer Fragestellungen genutzt; neben der Distribution auch für Bauabfolgen von Gebäuden, Herstellernamen, -betriebe, Transportwege und Mauerdatierungen. Tierabdrücke geben Hinweise auf Produktionsbedingungen und zur Fauna in deren Umfeld. Daneben liefern chemische und andere technisch/physikalische Analysen Informationen über Materialzusammensetzung, -herkunft, Brennbedingungen etc. Für die Quantifizierung von Prozessketten lassen Ziegelstempel und technisch/chemische Analysen jedoch in der Regel keine Rückschlüsse auf die jeweils für eine Charge oder einen Produktionszyklus benötigten Ressourcen und die zugehörigen Mengen und Zeiten zu. Sie bleiben in der vorgelegten Arbeit deshalb unberücksichtigt.

Aus der Forschungsgeschichte zur Ziegelproduktion stehen insbesondere die von verschiedenen Autoren vorgelegten Studien zur Produktionstechnik und -organisation (sowohl als qualitative Betrachtungen, aber auch mit Ansätzen zur Quantifizierung des Produktionsprozesses mit Hilfe von Prozessketten) im Vordergrund des Interesses.

Alan McWhirr, (seit 1978), Janet DeLaine (seit 1992), Holger Bönisch (seit 1996), Elizabeth Shirley (seit 2000), Peter Warry (seit 2006) und Emmi Federhofer (seit 2007) haben dazu wesentliche Ergebnisse publiziert. Diese werden nachfolgend in Form einer Übersicht vorgestellt. Einzelheiten daraus werden in den jeweils relevanten Kapiteln der vorliegenden Arbeit angesprochen und quellenkritisch bewertet.

McWhirr – Viner 1978 The production and distribution of tiles in roman Britain with special reference to the Cirenaster region

McWhirr und Viner legen hier die erste graphisch aufbereitete Arbeitsfolge (Abb. 3) für die Produktion römischer Ziegel vor. Sie dient im nachfolgenden Bericht als Gliederung

²⁸ Prozesskettenbetrachtungen für die Brennholzgewinnung sind als Referenz zu den hier angestellten Berechnungen in Kap. 13.3.2 aufgeführt. Transporte sind entweder Teil der Prozesskette der Ziegelherstellung oder aber dieser vor- bzw. nachgeschaltete Aktivitäten; für letztgenannte werden Quellen (für die Einzelaktivitäten Beladen – Transportieren – Entladen) ebenfalls im Anhang genannt.

bei ihrer Beschreibung der Einzelaktivitäten; nicht jedoch zu Quantifizierungen. Gleichwohl stellt sie ein wichtiges Raster für Quantifizierungsbetrachtungen dar und liefert für die vielen nachfolgenden Arbeiten von McWhirr den Orientierungsrahmen; auf deren Ergebnisse wird in der vorliegenden Arbeit in den jeweiligen Kapiteln näher eingegangen. Außerdem verweisen die Autoren auf Techniken aus neuerer Zeit, um die Techniken römischer Ziegelproduktionen verstehen zu können – ein, wenn auch nicht explizit angesprochener ethnologischer Ansatz, den sie jedoch auch einer pragmatischen und quellenkritischen Betrachtung unterziehen: „It is likely that different craftsmen originally used different techniques and that there is more than one way of making a particular tile.“²⁹

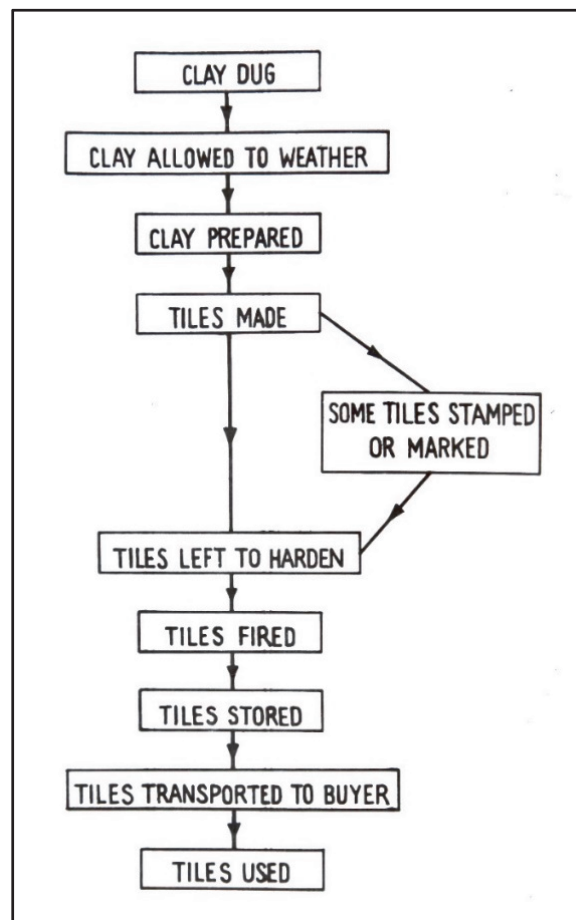


Abbildung 3 Flussdiagramm zur Illustration der Ziegelproduktion
(McWhirr – Viner 1978)

Die Distribution römischer Ziegel bearbeiten sie anhand von gestempelten Ziegeln aus Produktions- und Verwendungsplätzen.

²⁹ a. a. O. 360/1

Peacock 1979 An Ethnoarchaeological Approach to the Study of Roman Bricks and Tiles Ethnographisch abgeleitete Modelle bezeichnet Peacock als wesentliche Bestandteile im „tool kit“ eines Prähistorikers. Für die klassische Archäologie sieht er dagegen deren Bedeutung bislang (1979) dagegen als eher gering an; dort wurde der Rahmen für Überlegungen eher aus schriftlichen Quellen geschaffen. In der Ziegelfabrikation sei dieser Ansatz jedoch erheblich zu selten, und epigraphische Daten aus Stempeln und Graffiti seien eher die Ausnahme als die Regel; es scheine, dass Ethnographie eine wesentlich größere Rolle als bisher erlaubt, spielen könnte.³⁰ „Ethnography can help us to understand and to classify the different types of organization underlying brick production and distribution.“³¹ In seinen Betrachtungen vertieft er diese Überlegungen und gliedert danach die Ziegeleibetriebe in fünf verschiedene Betriebsformen („modes of production“):

1. „household production for own consumption
2. small rural brickyard – six men – distributing the bricks over a radius of about 5–10 miles; most brickyards in Britain in the 19th and 20th centuries
3. nucleated brickyard complex – small concerns are grouped together in onicular region
4. estate brickwork – production is not for sale, only for the estate itself – popular in the 18th and 19th century
5. Municipal brickworks controlled and run by the town authorities – leased to a brickworker“³²

Dabei bezieht er auch Betriebsformen des modernen England des 19. und 20. Jhs. mit ein. Schwerpunkt seiner Arbeiten mit Bezug zu Ziegeln (er beforscht daneben auch Amphoren und deren Herstellung) sind somit die Ethnologie und der klare Hinweis auf das Potential interdisziplinären Arbeitens, wie es auch in der vorliegenden Arbeit praktiziert wird. Quantitative Angaben zum Produktionsprozess werden nicht gemacht.

³⁰ 5 „it seems that ethnography could play a much greater role than has been hitherto allowed.“

³¹ a. a. O. 6 Ethnographie verwendet er dabei im Sinne von Analogien, z. B. 5 „if we wish to understand how *imbrices* were made we can not do better than look at recent production.“ Er betont jedoch auch, dass moderne Techniken nichts über die Vergangenheit beweisen. Sie können lediglich Modelle liefern, die dann in einer kritischen Bewertung hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit über römische Sachverhalte geprüft werden können. „However, it should be stressed at the outset that modern practices will prove nothing about the past. What they will do is to provide models which can then be tested by critical evaluation of the Roman evidence.“ Dieser Ansatz könne Widersprüche, aber auch Übereinstimmungen offenlegen, und beide seien gleich wertvoll beim Annähern an die römische Praxis. „This approach may reveal contrasts as well as congruences and both are equally valuable in assessing Roman practice.“ Dieses Vorgehen wurde auch in der vorliegenden Arbeit praktiziert.

³² a. a. O. 6, 7, 8.

McWhirr 1979 Tile-Kilns in Roman Britain

Hier wird ein umfangreicher Katalog römischer Ziegelöfen im römischen Britannien als Liste mit Abmessungen und als Graphiken vorgelegt. Er wird in der vorliegenden Arbeit als wichtige Quelle für römische Ziegelöfen in Britannien verwendet.

Darvill 1979 Petrological Study of LHS and TPF Stamped Tiles from the Cotswold Region

Darvill strebt an, die „economic organization“ der Ziegelindustrie einer Region im römischen Britannien zu skizzieren und behandelt dabei „the largest identifiable network“. Er untersucht die Verteilung von Ziegeln mit 2 verschiedenen Stempeln in einem Bereich mit dem Zentrum in Cirencester und einem Verbreitungsradius von 30 km. Die Ergebnisse sind im Wesentlichen qualitativ und beschreiben ökonomische Aspekte, wie beispielsweise die möglichen Vorteile einer „nucleated industry“ – einer Anordnung von Betrieben in einem engen Umkreis als Versorgungsquelle einer Region und Überlegungen über die Distribution von Ziegeln minderer Qualität. Seine Vorgehensweise illustriert er in folgendem Schema:

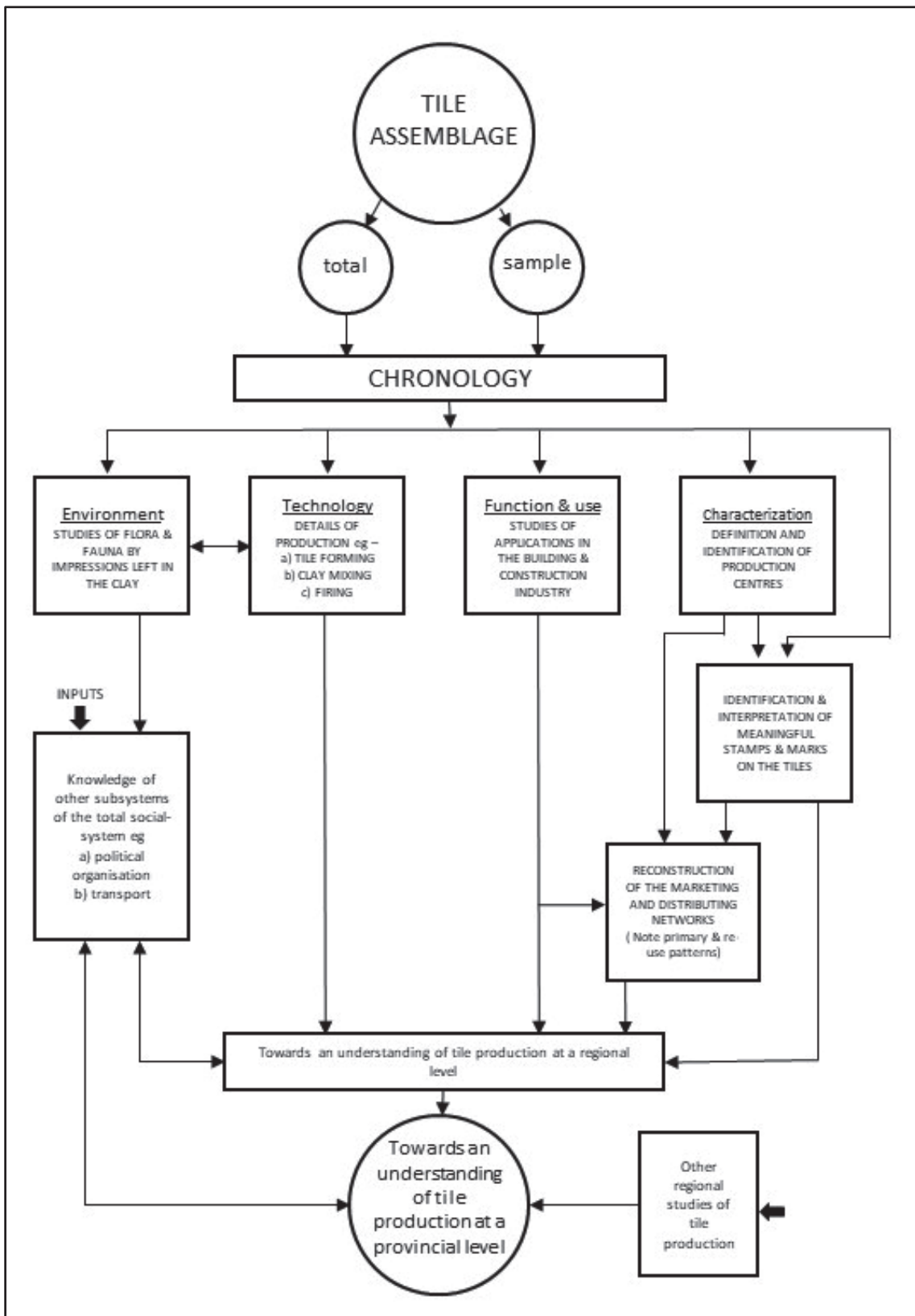


Abbildung 4 Vorschlag für eine Systematik zum Studium der römischen Ziegel (Darvill 1979)

Folgende Aspekte sind darin miteinander verknüpft:

Ausgangspunkt: Ziegelmenge

Elemente:

Datierung

Umfeld/Umgebung: Studien zu Flora und Fauna durch Abdrücke im Ton

Technologie: Details der Produktion; a) Ziegelformen, b) Lehmmischen, c) Brennen

Funktion und Verwendung: Studien zum Einsatz in der Gebäude- und Bauindustrie

Charakterisierung: Beschreibung und Identifikation von Produktionszentren

Identifikation und Interpretation von aussagefähigen Stempeln und Markierungen auf Ziegeln

zusammen mit den Ergebnissen von Funktion und Verwendung:

Rekonstruktion von Marketing und Distributionsnetzwerk (dabei zu beachten: primäre und sekundäre Verwendung)

parallel zu diesen Elementen:

Kenntnisse anderer Subsysteme des gesamten Sozialsystems (a. politische Organisation, b. Transport)

Unterziel: Beitrag zum Verstehen der Ziegelindustrie in einer Region

Ziel: Beitrag zum Verstehen der Ziegelindustrie in einer Provinz

Aus diesen Elementen entsteht der angestrebte Beitrag zum Verständnis der Ziegelproduktion einer Region. Durch Einbringung anderer regionaler Studien der Ziegelproduktion wird dann daraus der Beitrag zum Verständnis der Ziegelindustrie einer Provinz. Das dargestellte Schema zeigt einen eher globalen als detaillierten Ansatz. Es ist weder eine „chaîne opératoire“, noch eine Prozesskette, obwohl es in seiner graphischen Aufbereitung auf den ersten Blick einen solchen Eindruck zu vermitteln scheint; es stellt lediglich eine Zusammenstellung einiger möglicher Komponenten bei Studien zur Ziegelproduktion dar. Möglichkeiten und Grenzen eines solchen Modells werden überdies nicht diskutiert; quantitative Angaben zur Produktion werden nicht genannt.

Darvill – McWhirr 1982 Roman brick production and the environment

Hier handelt es sich um eine Arbeit im Nachgang früherer Aktivitäten mit Ausdehnung auf die Spezialthematik Umwelt; mit einer neuen Darstellung der „chaîne opératoire“. Eine Quantifizierung erfolgt für die Umweltrelevanz von Lehmgewinnung, Trocknung und Brennen. Detailliert angegebene Daten werden in späteren Kapiteln der vorliegenden Arbeit bei der Betrachtung der einzelnen Aktivitäten diskutiert.

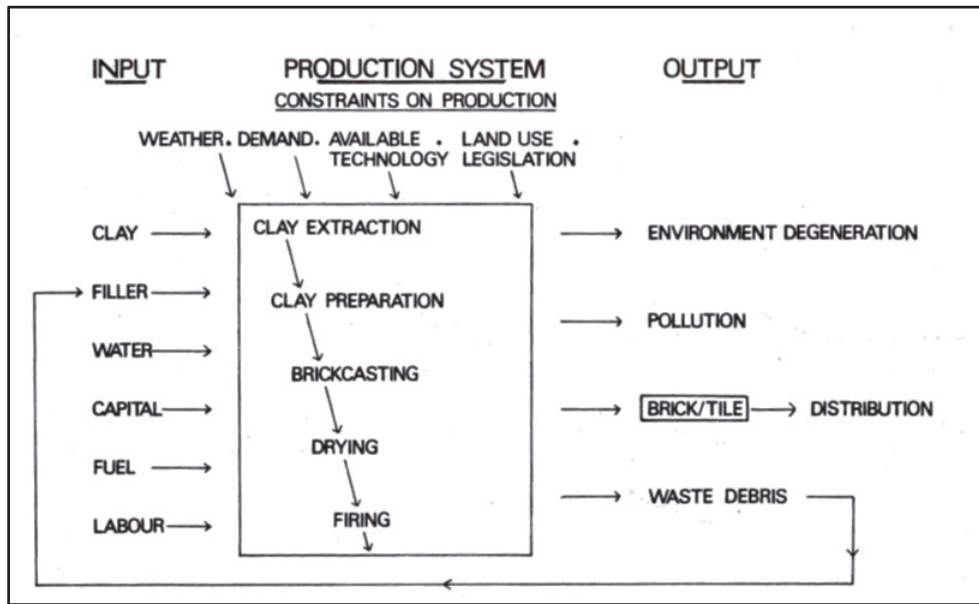


Abbildung 5 Systemmodell der römisch-britischen Ziegelproduktion (Darvill – McWhirr 1982)

McWhirr 1984 The production and distribution of brick and tile in Roman Britain

Diese Dissertation ist eine Zusammenstellung früherer Arbeiten von McWhirr, ergänzt um Betrachtungen zu Stempeln und Markierungen auf Ziegeln sowie zu möglichen Organisationsformen von Ziegeleien in römischer Zeit:

- Military Production
- Municipal production
- District or Rural Brickyards
- Clustered Industries
- Peripatetic Production
- Estate Production³³

Die Angaben zu einzelnen Aktivitäten bei der Ziegelproduktion werden in den jeweiligen Kapiteln aufgegriffen und diskutiert.

Darvill – McWhirr 1984 Brick and tile production in Roman Britain: models of economic organisation

Die Publikation enthält eine Vertiefung der Arbeiten aus der Dissertation von McWhirr im Segment „ökonomische Organisation der Ziegelproduktion in Britannien“. Ergebnis: Die Ziegelproduktion ist komplex und passt sich der verschiedenartigen Nachfrage an.

³³ a. a. O. 34–48

Wanderarbeiter sind ebenso zu vermuten wie Cluster von Betrieben an Orten mit verwertbarem Lehm. Der Aufsatz liefert globale Aussagen und keine hier verwertbaren detaillierten Quantifizierungen. Er ist ein Beispiel für die Anwendung der „chaîne opératoire“ für verschiedenartige Betrachtungen der Ziegelproduktion. Ein konkreter Bezug zur vorliegenden Arbeit besteht nicht.

DeLaine 1992 Design and construction in roman architecture The Baths of Caracalla in Rome³⁴

Inhalt dieser Dissertation der Architektin und Bauingenieurin ist eine Studie zum Entstehungsprozess römischer imperialer Architektur am Beispiel der Caracalla-Thermen in Rom. Sie betrachtet die Prozesse von Entwurf und Errichtung und ihre ökonomischen und soziopolitischen Konsequenzen und Auswirkungen. „This analysis thus allows for the first time a detailed assessment of the economic and social impact of a major public building project in terms of the amount and type of labour required over a given period and distributed over the city, its immediate periphery, and more distant sites.“³⁵ Der Fokus ist demnach nicht primär auf Befunde von Produktionsstätten gerichtet, sondern zielt auf den Bedarf für das Großprojekt Thermen und die dafür notwendigen Ressourcen. Auch die Erzeugung der verwendeten Baumaterialien wird angesprochen; unter anderem die Produktion der verwendeten Baukeramik, wie *tegulae*, *imbrices* und *lateres*. Die Studie liefert außer einer vergleichbaren Strukturierung – nach Einzelaktivitäten u. a. bei der Produktion von Baukeramik – auch eine Vielzahl von Mengen- und Zeitdaten, deren Verwendbarkeit für die vorliegende Arbeit einer gründlichen quellenkritischen Bewertung unterzogen werden musste. Bei der Datenermittlung zu den einzelnen Aktivitäten wird darauf ebenso näher eingegangen wie bei den Berechnungen zur Ziegelherstellung für Großbauten in Rom.

DeLaine 2016 The production, supply and distribution of brick

In ihrem Aufsatz spricht DeLaine einige Aspekte der „brick production“ – nicht der *tegulae* und *imbrices* Produktion – für Großbauten in Rom, wie z. B. der „*domus aurea*“ an und berechnet u. a. auf der Basis ihrer früheren Arbeiten grob einige Mengendaten. Desweiteren geht sie auf organisatorische Fragen bei der Produktion ein. Außerdem leitet sie aus der Verschiedenartigkeit der Funde an einer Produktionsstätte eine auf mögliche „polyvalente“ Produktion – Produktion von Bau- und Gebrauchskeramik in einer Anlage –

³⁴ Diese Arbeit wurde 1997 in überarbeiteter Form vorgelegt: DeLaine 1997 The baths of Caracalla: a study in the design, construction and economics of large-scale building projects in Imperial Rome. Die dort präsentierten Ergebnisse werden in der vorliegenden Arbeit ebenfalls berücksichtigt. 2001 veröffentlicht DeLaine mit „Bricks and Mortar. Exploring the economics of building techniques at Rome and Ostia“ eine weitere Arbeit zu Bauten und Bautechniken, die inhaltlich und strukturell auf ihren Vorgängerarbeiten aufbaut.

³⁵ a. a. O. S. i.

ab. Daten hierzu werden jedoch nicht genannt. Ein Grund hierfür könnte sein: Die Annahme einer polyvalenten Produktion verkompliziert die Betrachtung lokaler Anlagen erheblich. Eine Vielzahl möglicher Produktkombinationen mit sehr verschiedenen Formvorgängen und Ofenfüllungen liefert einen komplexen Produktmix, für den eine Vielzahl von Fertigungsprozessen detailliert quantifiziert werden müsste. Da jedoch Angaben zu den produzierten Mengen der einzelnen Produkte fehlen, liegen keine Informationen über die Häufigkeiten der einzelnen Fertigungsprozesse innerhalb einer Saison vor; theoretisch wären demnach beliebig viele Kombinationsmöglichkeiten denkbar. Mathematisch wäre dies beschreibbar; Hinweise auf anzunehmende reale Verhältnisse – und daraus abzuleitende Betriebsmodelle – ergäben sich ob dieser hohen Komplexität jedoch nicht. „Polyvalente“ Produktionen können für antike Produktionsanlagen demnach nicht generell, sondern bestenfalls in Form von Einzelfallbetrachtungen anhand dafür geeigneter Befunde mit begrenztem Produktmix rekonstruiert werden.

Bönisch 1996 Historische Ziegeltechnologie unter besonderer Beachtung des Feldbrandes

Der Bauingenieur, Industrieofenbauer und Experimentalarchäologe liefert in seinen Arbeiten neben einer „chaîne opératoire“-orientierten Strukturierung der einzelnen Aktivitäten auch verfahrenstechnische Angaben zu den Produktionsschritten. Insofern sind seine Arbeiten und Experimente wichtige Quellen für technologische Daten der Ziegelfertigung, insbesondere für das Brennen.³⁶

Bender – Schrader 1999 Dachziegel als historisches Baumaterial: ein Materialleitfaden und Ratgeber

Für eine Handstrichziegelei³⁷ wird die arbeitsteilige Verfahrensweise nach folgendem Schema beschrieben: Aktivität: Bezeichnung von Akteuren

- Lehm abbauen: Lehmgräber, Erdarbeiter, Tonstecher
- Zur Sumpfgarbe bringen: Umgänger, Karrenmann, Aufkarrer
- Wässern in der Sumpfgarbe: Grubenknecht, Sumpfer
- Auf dem Tretplatz durcharbeiten: Erdmacher, Lehmmacher, Lehmtreter mit bloßen Füßen
- Hauebank: Tondrescher, Tonhauer mit Haueisen durchdreschen (bei Dachziegeln oft nötig, da Treten nicht ausreichte)
- Entfernen von Beimengungen auf der Schneide- oder Schrotbank: Tonschneider schneidet mit Tonmesser den Ton in dünne Streifen

³⁶ siehe auch Bönisch 1988a; außerdem in Korrespondenz mit Bönisch 2015/6 zu spezifischen Werten seiner Versuche.

³⁷ Eine für die hier betrachtete Art der Ziegelherstellung anzunehmende Technologie; dabei wird beim Formen eines Ziegels der überschüssige Lehm in einer Form von Hand abgestrichen.

- Antransport des fertig aufbereiteten Tons zum Streichtisch: Lehmträger, Vogelträger mit Rückentragegerät oder vom Tonbringer oder Kärner mit Schubkarre
- Streichen: Former
- Formling zum Trockenplatz transportieren: Abträger, Abtragejunge oder „kleiner Junge“ mit dem Trockenbrettchen oder mit speziellem Transportkarren: Abkarrer, Abnehmer, Preßkarrenschieber
- Einsetzen in Trockengestelle: Einrüster, Gerüstsetzer
- Getrocknete Ziegel zum Ofen fahren: Zuführer, Scherger, Schubknecht, Einschieber oder Karrenmann
- In Ofen einsetzen: Einsetzer, Ofensetzer, Setzer
- Brennmaterialtransport: Holzschieber, Kohlenjunge
- Entzünden und Unterhalten des Feuers: Brenner, Brennknecht
- Ofen leeren: Ausschieber, Auskarrer

Dabei übernahmen die Ziegler, Ziegelmacher, Ziegelbäcker in der Regel mehrere dieser aufgeführten Arbeiten. Als Mannschaft eines Streich- oder Formtisches wird auch hier (für die Herstellung von Dachziegeln) die Bezeichnung „Pflug“ angegeben. Die Stärke eines Pfluges liegt bei 3–10 Personen.³⁸ Obwohl die Beschreibung für eine spätere Zeit gilt, werden doch die wesentlichen Arbeiten bei der Herstellung von Dachziegeln mit industrieähnlichen arbeitsteiligen Prozessen umfangreich aufgeführt, wie sie in einer auch für die Antike zu unterstellenden Handziegelei anzunehmen sind. Quantifizierungen werden nicht vorgenommen.

Shirley 2000 The construction of the Roman legionary fortress at Inchtuthil

Am Beispiel des Lagers Inchtuthil in Schottland beschreibt und quantifiziert Shirley Materialmengen und Mannstunden, die für die verschiedenen Teile des Lagers benötigt worden sein könnten. Strukturiert ist die Dissertation, die später in überarbeiteter Form vorgelegt wurde, nach den einzelnen Bauteilen, wie z. B. Gelände (-vorbereitung), Bauten, Straßen, etc. Die Produktion der Bauelemente wird dabei kaum berücksichtigt; vielmehr stehen die Bauarbeiten in Mittelpunkt. Insofern stellt die Arbeit einen interdisziplinären Ansatz zur Quantifizierung von Bauleistungen und Ressourcen bei einem Bauprojekt des römischen Militärs dar, verwendet jedoch keine Prozessketten als Strukturierungssystematik. Die in der Arbeit vorgelegten Daten zur Baukeramik und zu Transporten wurden auf ihre Verwendbarkeit für die Betrachtungen in der vorliegenden Arbeit in den jeweils zugehörigen Kapiteln hin geprüft (siehe dort).

³⁸ a. a. O. 86/87

De Niel 2000 Gevormd, gedroogd en voor de eeuwigheid gebakken
 In einer Schrift für das Ecomuseum und Archiv der Ziegel aus Boom (zwischen Brüssel und Antwerpen gelegen) wird der Produktionsprozess der sog. *Boomse baksteenen* mit manueller Fertigung im Format $175 \times 82 \times 50$ mm (Volumen = 0,72 l) im 19. und 20. Jh. ausführlich beschrieben und dargestellt:

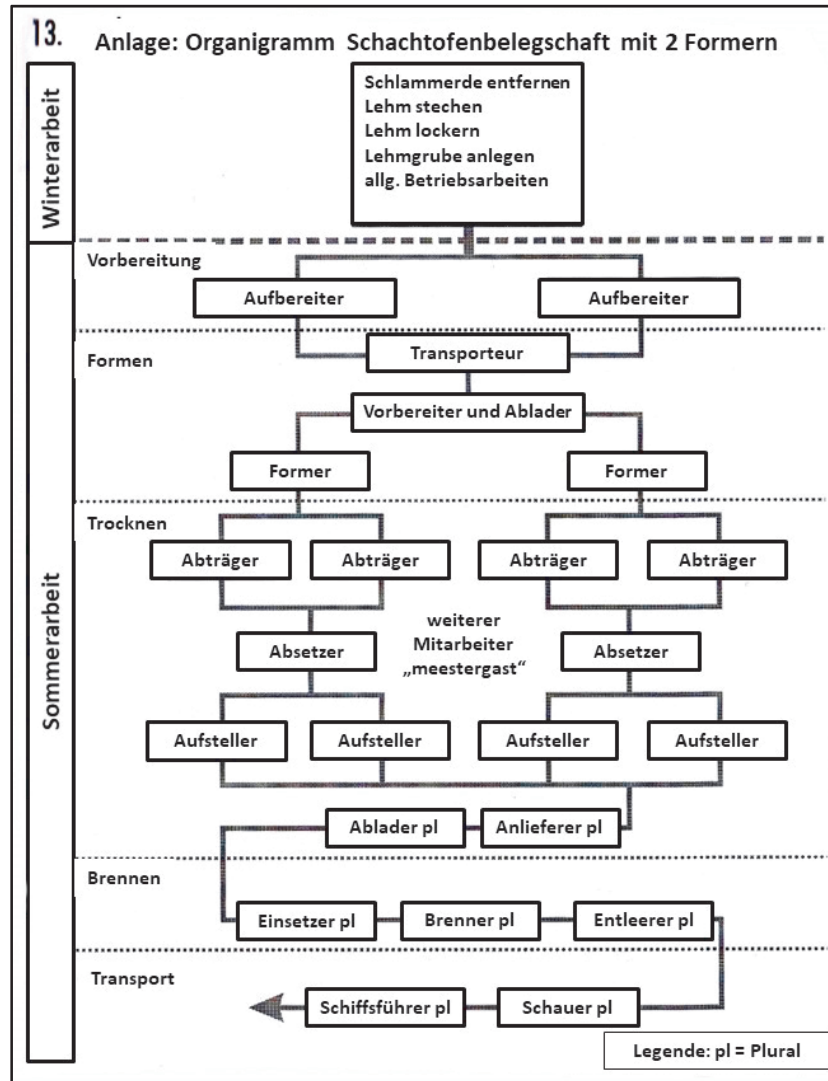


Abbildung 6 Organigramm einer Schachtofenbelegschaft mit 2 Formern
 (nach De Niel 2000)

Dabei konnten wegen der relativ geringen Größe der einzelnen Ziegel von einem Former in einer Schicht große Stückzahlen produziert werden. Dies war möglich, da er von zuarbeitendem Hilfspersonal beim Transport und der Lehmaufbereitung unterstützt wurde. Insgesamt ist die personelle Besetzung bei den einzelnen Aktivitäten so ausgerichtet, dass ein optimaler Produktionsablauf erreicht werden konnte; ein Aspekt, der auch bei den

hier erfolgten Rekonstruktionen unterstellt wurde. Auch wenn sich die eingesetzte Brenntechnik – der verwendete Ofen war ein Feldbrandofen mit mehreren tausend Ziegeln – von dem in der Antike angewendeten Verfahren unterscheidet, bieten sich für viele andere Aktivitäten (Formen, Transportieren, Lehm aufbereiten etc.) verwendbare Informationen bei der Quantifizierung von Prozessketten für die Antike.

Warry 2006 Tegulae, manufacture, typology and use in Roman Britain

Bei seiner Studie zu *tegulae* und *imbrices* aus 105 Fundorten im römischen Britannien baut Warry auf Daten und Strukturen von DeLaine auf und bringt eigene Ergänzungen zu Produktionsabläufen, Zeiten und Mengen ein. Dabei verwendet er die „Activities: Quarrying clay – Loading and carrying clay 250 m – Preparing clay an forming bricks – Carrying and loading kiln – Obtaining fuel for kiln – Firing – Unloading“.³⁹ Die Aktivität „Obtaining fuel for kiln“ ist hier von ihm zusätzlich in die Liste von DeLaine aufgenommen worden. Sein Ziel ist es, auf diese Art und Weise den gesamten Personalbedarf je m³ verarbeiteten Lehms zu berechnen. Die Berechnungen sollen dabei für alle Aktivitäten auf Daten von DeLaine 2001 aufbauen. Da DeLaine jedoch keine Werte für das „Obtaining fuel for kiln“ liefert, stellt Warry hierfür eigene Berechnungen an⁴⁰ und ermittelt dabei einen Anteil dieser Aktivität am gesamten Personalbedarf für die Ziegelproduktion von nahezu 50%! Eine nachvollziehbare Herleitung und eine kritische Erläuterung dieses mit Abstand größten Einzelpostens beim Personalbedarf werden jedoch nicht gegeben. Zudem nutzt er nach eigenen Aussagen hierfür Angaben von DeLaine, die sich ihrerseits bereits bei einer kritischen Betrachtung als nicht geeignet erwiesen haben.⁴¹ Die Qualität der Datenangaben dieser Quelle lässt aus diesen Gründen eine Weiterverwendung – auch als Vergleichswerte – nicht zu.

Federhofer 2007 Der Ziegelbrennofen von Essenbach und römische Ziegelöfen in Raetien und Noricum. Untersuchungen zu Befunden und Funden, zum Produktionsablauf und zur Typologie.

Methodisch ähnlich der Arbeit von Warry (ohne dessen Überlegungen zur Brennmaterialgewinnung) legt Federhofer Studien zu Raetien und zum Noricum vor. Neben einem umfangreichen Katalog römischer Brennöfen wird auch über Experimente zum Brennen von Ziegeln berichtet. Außerdem liefert die Arbeit umfangreiche Daten, Informationen und Beschreibungen zu Art und Ablauf der Ziegelproduktion sowie zur Ofentypologie.

³⁹ a. a. O. 121 Figure 8.2

⁴⁰ 121

⁴¹ siehe dazu auch Kap. 13.5.2

Weitere Quellen mit Bezug zu Prozessketten-Analysen und Quantifizierungen bei der Baukeramik-Produktion:

Hampe – Winter 1965 Bei Töpfern und Ziegler in Süditalien, Sizilien und Griechenland. Obwohl die Arbeit keine methodische Studie zur Ziegelherstellung beinhaltet, sondern eine ethnologische Sammlung von Informationen und Daten aus Mittel-/Süditalien und Griechenland zum Töpfer- und Zieglerhandwerk Anfang der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts ist, sind einzelne Detailinformationen für eine Quantifizierung geeignet. Sie werden in den entsprechenden Kapiteln angesprochen.

Steinby 1979 und später La produzione laterizi

Steinby liefert eine Vielzahl von Publikationen zur Produktion von Ziegeln in Italien. Ausgangspunkt für die Studien sind dabei die Ziegelstempel, anhand derer sie Informationen zu Betreibern und Eigentümern sowie zu Transportwegen erarbeitet und soziogeographische Betrachtungen anstellt. Ihre Arbeiten sind ein gutes Beispiel für den am meisten gewählten Ansatz für Untersuchungen zu römischen Ziegeln: Stempel als Selektions-, Verbreitungs-, Zuordnungs- und Organisationsmerkmal. Quantifizierte Angaben zur Produktion und zu Ressourcen und Produkten wurden hierbei nicht erarbeitet.

Le Ny 1992 La production des matériaux de construction en terre cuite en Gaule romaine. Diese umfangreiche Sammlung von Literatur zur Baukeramik-Produktion in einem sehr großen Gallo-Römischen Gebiet (Narbonne, Gallien, Germanien, Alpenländer) liefert eine Vielzahl archäologischer und ethnologischer Befunde aus sogenannten traditionell arbeitenden Ziegeleien der Neuzeit. Die dabei recherchierten Daten werden jedoch kaum kritisch beleuchtet, sondern katalogartig aufgelistet. Sie konnten gleichwohl als Informationsquelle verwendet werden.

Charlier 2011 Technologie des tuiliers gallo-romains (Gaulles et Germanies): analyse comparative et régressive des structures de production des matériaux de construction en terre cuite de l'époque contemporaine à l'Antiquité

Die „Technologie der gallo-römischen Ziegelbrenner: Vergleichende und rückblickende Analyse der Produktionsstrukturen bei Baukeramik von der Neuzeit bis zur Antike“ ist eine Dissertation an der Universität Besançon mit nahezu 800 Seiten Umfang. Auch hier wird methodisch der „chaîne opératoire“ gefolgt, jedoch mit weniger Einzelaktivitäten als in den bislang angesprochenen Arbeiten; Transporte und Brennmaterialgewinnung werden z. B. nicht berücksichtigt. Eine Vielzahl ausführlicher Befundbeschreibungen der betrachteten Regionen mit Skizzen und Daten sowie Informationen aus neuzeitlichen Betrieben und von Experimenten werden in ihren jeweiligen Bezug zur „chaîne opératoire“ gestellt. Der umfangreiche Katalog von Fundorten ermöglicht systematische, vergleichende Betrachtungen, z. B. bezüglich Ofengrößen und -typen.

Ormeling 2011 Modelling Labour in Ancient Egypt. The First Dynasty Mud Brick Fortress at Elephantine. Case study

Diese Fallstudie beinhaltet den Bau einer altägyptischen Befestigungsanlage aus Lehmziegeln sowie die Gewinnung des dazu benötigten Baumaterials. Die Produktion der Ziegel wird mit einer Prozesskette gegliedert, die Tätigkeiten rekonstruiert und die Mengen und Zeiten je Einzelaktivität ermittelt. Ausführliche Überlegungen zur Evaluation (z. B. durch Berechnen und Vergleichen von spezifischen Leistungsdaten je Mitarbeiter) der mit dem angewandten Modell gewonnenen Daten – auch für die Errichtung des ausgewählten Gebäudes – werden angestellt. Im Gegensatz zu den bisher in dieser Arbeit erwähnten Studien stehen dort jedoch ungebrannte Mauerziegel mit einheitlichem Format im Fokus; Brennöfen existieren demzufolge nicht. Die Arbeit ist der hier vorgelegten in der Methodik ähnlich, in der Technologie und den dazu in Relation stehenden Daten jedoch nicht.

Zusammenfassung

Seit ca. 1979 liegen spezifische Arbeiten zur Quantifizierung der Produktionsvorgänge historischer Ziegelherstellung vor. Auch die in der Archäologie als Darstellung von Bearbeitungsabfolgen gebräuchliche „chaîne opératoire“ wird dabei gelegentlich als Grundmuster zur Darstellung von Aktivitätenfolgen eingesetzt. Studien zum Materialbedarf für Gebäude enthalten ebenfalls Ansätze zur Quantifizierung von Ressourcen, produzierten Mengen und eingesetztem Personal bei der Ziegelherstellung.

Betriebsmodelle, die aus Prozesskettenanalysen hergeleitet werden, liefert jedoch keine dieser Quellen. Zusammenhänge zwischen Chargen- und Saisonleistungen, Kapazitäten und Personal-/Ressourcenbedarf in Abhängigkeit von der wichtigsten Größe einer Ziegelei – den Brennofenabmessungen – wurden für die römische Epoche bislang nicht angestellt.

Die Arbeiten sind gleichwohl eine wichtige Quellengattung für einzelne Daten. Dies gilt umso mehr, als darin oftmals Berechnungen zu Teilaspekten der Ziegelherstellung angestellt werden. Deshalb wurden in den einzelnen Kapiteln die jeweiligen Informationen aufgegriffen, die Herkunft der Werte geprüft und bzgl. einer Verwendbarkeit beurteilt.

6 Vorgehensweise

In der vorliegenden Arbeit wird nach der Abgrenzung der keramischen Baumaterialien von den anderen Produkten der Keramikbetriebe (sog. Feinkeramik) ein Betriebsmodell für römische Ziegeleien entwickelt. Dazu werden die Elemente der einzelnen Aktivitäten der Prozesskette beim Ziegelherstellen analysiert, beschrieben und quantifiziert: welche Mengen Lehm und welcher Zeitbedarf werden beispielweise für das Formen von Ziegeln der unterschiedlichen Ziegeltypen benötigt.

Als zu betrachtende Ziegeltypen werden Angaben aus Befunden bzw. standardmäßig bei römischen Bauten vorgefundene Stücke ausgewählt, beschrieben und deren Volumina ermittelt; daraus ergibt sich die Menge benötigten Lehms, sowohl je Stück als auch je Ofencharge und für die gesamte Saison einer Ziegelei.

Bauarten und Größen der verwendeten Öfen konnten aus einer umfangreichen Berichterstattung zu Befunden in der betrachteten Region gewonnen werden. Dabei waren viereckige Schachtöfen für die Ziegelherstellung bei weitem dominierend. Die Höhen der Öfen, bzw. der Brennkammern, die in den Befunden wegen des hohen Zerstörungsgrades des Aufgehenden nicht angegeben sind, wurden aus Versuchen mit Schachtöfen und mit Hilfe von Plausibilitätsbetrachtungen hergeleitet; auch die jeweilige Dauer eines Brandes in Abhängigkeit von der Brennkammergröße stammt aus solcher Art Quellen.

Damit liegen die wesentlichen Basisinformationen für Quantifizierungsbetrachtungen zum Material- und Personalbedarf einer Ofenfüllung für einen Brand vor:

Die Größe der Brennkammer bestimmt die Anzahl möglicher Ziegel je Ofenfüllung eines Ziegeltyps. Zudem ist mit der Dauer eines Brandes auch die für das Formen der eingesetzten Rohlinge verfügbare Zeit vorgegeben (unter der Voraussetzung, dass der jeweilige Ofen in Volllast betrieben wird, bei der direkt nach Ende eines Brandes der Ofen für den nächsten Brand gefüllt wird).⁴²

Der Material-, Zeit- und Personalbedarf für das Vorbereiten, Formen, Trocknen, Brennen und Nachbereiten eines Ziegels wird für jeden Ziegeltyp angegeben; gewonnen wurden diese Werte aus Versuchen, Erfahrungswerten, Schätzungen, Vergleichen und Plausibilitätsbetrachtungen.⁴³ Diese Angaben werden dann für eine Ofenfüllung mit der Anzahl eingesetzter Ziegel multipliziert und so die Werte je Brand ermittelt.

⁴² Teilauslastungen mit größeren Pausen zwischen den Bränden sind selbstverständlich denkbar. Wegen der Vielzahl der dabei gegebenen Möglichkeiten und gleichzeitiger Unkenntnis historisch belegter Angaben wurden dazu keine Berechnungen angestellt. Falls die Datenlage eines Befundes jedoch hierzu Informationen liefern sollte, wäre das Modell leicht anpassbar.

⁴³ Zu den Ermittlungen des Personalbedarfs ist hervorzuheben, dass die Anzahl der für eine Produktion benötigten Manntage (Menge an Stunden für das Ausführen einer Aktivität je Arbeitstag) nicht der Anzahl benötigter bzw. eingesetzter Personen entsprechen muss: Die Manntage sind für das Ausführen eines Prozessschrittes notwendig, müssen aber nicht von ein und derselben Person ausgeführt werden; es sind

Für befundübergreifende Parameter, wie die Länge einer Ziegelsaison in einem Jahr, den Verbrauch an Waldfläche für eine spezifische Menge Brennmaterial,⁴⁴ die zugehörige Personalkapazität für die Aufbereitung des Brennmaterials sowie die benötigten Kapazitäten und Zeiten für An- und Abtransport von Material und fertiger Ziegelware wurden ebenfalls Quellen aus Literatur, Versuchen etc. herangezogen.

Mit dem so erzeugten Datenkatalog konnten danach in Form von Fallstudien Betrachtungen zu maximal produzierbaren und verbrauchten Mengen, Zeitbedarfe, Personalbedarf, Verbrauch an Waldfläche etc. für verschiedene Befunde mit unterschiedlichen Ofengrößen für eine Ziegelsaison eines Jahres durchgeführt werden.

Dieser branchenübergreifende Ansatz beschreibt nicht nur die Aktivitäten innerhalb einer Ziegelei, sondern durch das Einbeziehen des unabdingbar dazugehörigen wirtschaftlichen Umfeldes (mit Waldflächenverbrauch, Brennmaterialgewinnung und Transport) das gesamte „Wirtschaftssystem Ziegelherstellung“.

Auf den Betrachtungen und Daten aus den NW-Provinzen basierend wurden nachfolgend auch Betrachtungen zum Einsatz von Ziegeln für Bauten in Rom angestellt: Zunächst wurde geprüft, welche Art von Öfen dort für das Herstellen von Ziegeln eingesetzt worden sind. Dabei zeigte es sich, dass nach den Angaben in der Literatur die dortigen Öfen hinsichtlich Typ und Größe denen in den NW-Provinzen gleichen. Die Typen der

sonit, je nach Personaleinsatz (z. B. bei parallel stattfindendem Einsatz des Personals für Aktivitäten in der Landwirtschaft oder für militärische Tätigkeiten) Halbtageseinsätze denkbar, die dann zwei Mitarbeiter je Manntag erfordern. Auch hierzu liegen für die Realität in der Antike keine spezifischen Angaben vor; nur wenn angenommen wird, dass 1 Manntag der Arbeitszeit eines Mitarbeiters entspricht, sind die Anzahl Manntage gleich der Anzahl benötigter Personen.

Die jeweils benötigten Manntage (bzw. Mannstunden oder -minuten) wurden wie folgt hergeleitet: Je Aktivität wurden die zugehörigen Tätigkeiten beschrieben und mit Hilfe von Vergleichs-, bzw. Schätzdaten die Zeitbedarfe je Stück (z. B. beim Formen der Ziegelrohlinge) bestimmt.

Bei den Zuarbeiten, wie beispielsweise beim Aufbereiten des Lehms vor dem Formen sind solch detaillierte Betrachtungen jedoch wenig sinnvoll, da der exakte Ablauf dieser Tätigkeiten sehr vielfältig, und damit unterschiedlich zeitaufwendig sein kann; hier wurde in Anlehnung an neuzeitliche manuelle Ziegelproduktionen mit pauschalen Zuschlägen zum Zeitbedarf eines Formers gearbeitet: jedem Former arbeitet beispielweise ein Lehmaufbereiter direkt zu.

⁴⁴ Zur Ermittlung des Flächenverbrauchs an Wald für die Gewinnung des in großen Mengen benötigten Brennmaterials sowie den dazu notwendigen Personalbedarf wurden Messgrößen zu möglichen Wald-erträgen für die als typisch für die ausgewählte Epoche zu unterstellenden Wälder recherchiert. Die Berechnung des Personalbedarfes für die Brennmaterialgewinnung erfolgte, wie bei der Ziegelherstellung auch, über den Zeitbedarf von Einzelaktivitäten. Aufgrund der Vielfältigkeit der einzelnen Arbeiten und der dabei möglichen stark schwankenden Randbedingungen mit Einfluss auf den Zeitbedarf, wurde folgendes Verfahren gewählt: Bei Verwendung von Scheitholz und Reisig fallen unabhängig von den jeweiligen Randbedingungen immer wiederkehrende Arbeiten, wie das Fällen von Stämmen, das Ablängen, das Spalten und das Bündeln an. Hierfür können Zeitbedarfe abgeschätzt werden. Über Zuschläge für andere Arbeiten, wie beispielsweise das Rücken (das Transportieren des Holzes zum Lagerplatz) konnte dann auf einen plausiblen Gesamtbedarf je Brennmaterialeinheit und damit auf den Gesamtbedarf geschlossen werden.

verbauten Ziegel konnten aus den Standardtypen für römisches Baumaterial und aus Befunden ermittelt werden. Damit waren Berechnungen zu Mengen, Personalbedarfen etc. auch für Bauten in Rom möglich. Folgende Fragestellung konnte auf diese Art und Weise bearbeitet werden:

„Wie viele Öfen, Material, Personal etc. waren einzusetzen, um die Menge der in einem Bauwerk verwendeten Ziegel innerhalb eines Zeitraumes, der beispielsweise durch die Bauzeit eines Gebäudes begrenzt ist, herzustellen?“

Auch dazu wurden mit dem vorhandenen Datenmaterial Fallstudien für das Ziegeln und sein wirtschaftliches Umfeld durchgeführt.

7 Ziegelherstellung

7.1 Keramische Baumaterialien

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

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

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

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

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

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

7.2 Ziegelformen

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

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

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

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

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

⁴⁷ Bundesverband 2008, o. S.

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

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

7.2.1 Dachziegel *tegulae* – *imbrices*

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

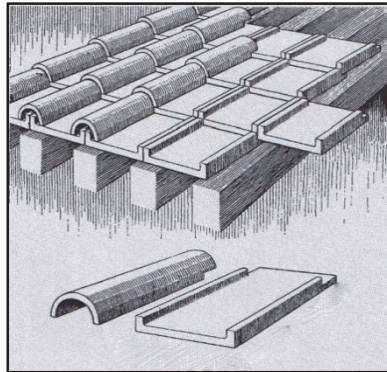


Abbildung 7 Leistenziegeldach (Bender 2008)

Beispiele für *tegulae* und *imbrices*:



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

⁵⁰ Bundesverband 2008, o. S.

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

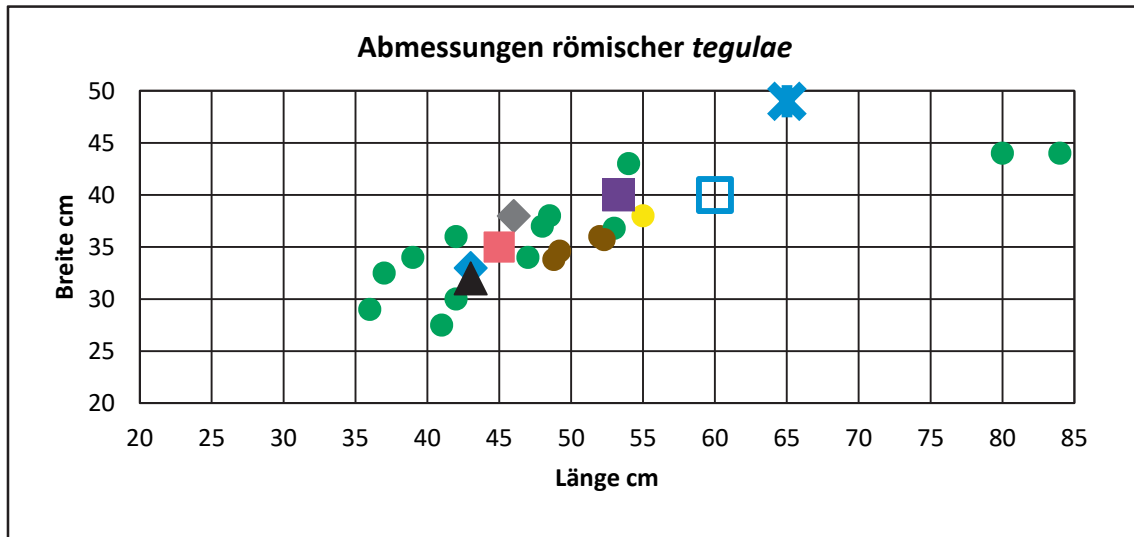


Abbildung 9 Abmessungen römischer *tegulae* aus Befundberichten

Legende: Quellen

grüne Punkte: Einzelfunde aus De Holdeurn⁵¹

braune Punkte: Einzelfunde aus Dormagen⁵²

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

blaues Karo: Durchschnittswert aus 460 Fundorten in Britannien 1010 Stücke⁵⁴

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

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

lila Quadrat: Durchschnittswert Windischer Ziegel⁵⁷

blauer Rahmen: 1. Jh. ohne Fundort Durchschnittswert⁵⁸

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

⁵¹ Holwerda – Braat 1946, 71.

⁵² Müller 1979a, 11.

⁵³ Le Ny 1988, 34.

⁵⁴ Brodribb 1987, 142.

⁵⁵ Jahn 1909, 114.

⁵⁶ Jahn 1909, 114.

⁵⁷ Jahn 1909, 114.

⁵⁸ Bundesverband 2008.

⁵⁹ Jahn 1909, 115.

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

Durchschnittswerte:

Dormagen: 3 cm⁶⁰

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

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

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

Dormagen: 4–6 cm⁶³

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

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

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

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

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

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

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

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

50 cm lang, 15 cm breit, 2 cm dick

⁶⁰ Müller 1979a, 6, 11.

⁶¹ Jahn 1909, 115.

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

⁶³ Müller 1979a, 11.

⁶⁴ Jahn 1909, 115.

⁶⁵ Müller 1979a, 11.

⁶⁶ Müller 1979a, 11.

⁶⁷ Brodribb 1987, 142.

7.2.2 Ziegelplatten *lateres*

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

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

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

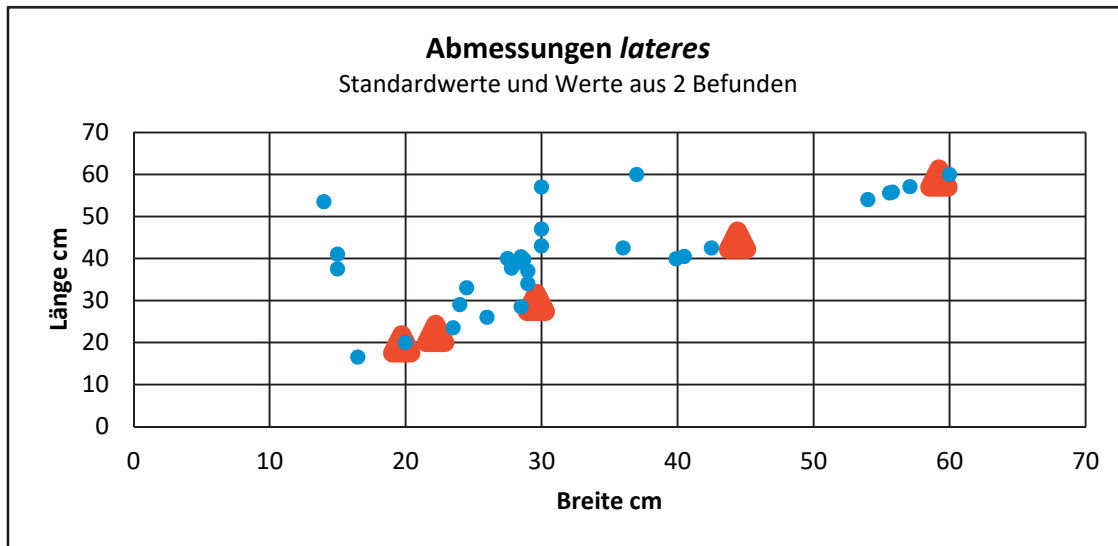


Abbildung 10 Abmessungen römischer *lateres* Standardwerte und Werte aus Befundberichten

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

⁶⁸ Brandl – Federhofer 2010, 22.

⁶⁹ Holwerda – Braat 1946, 71.

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

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

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

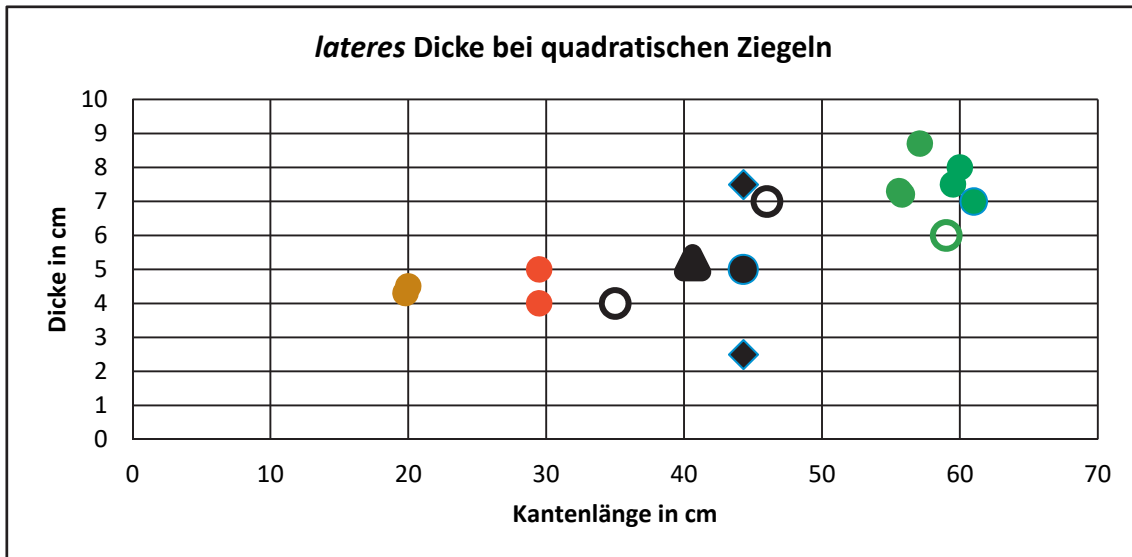


Abbildung 11 *lateres*: Dicke verschiedener quadratischer Ziegel

Legende/Quellen:

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

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

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

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

⁷² Brodrigg 1987, 41.

⁷³ Campbell – Pyce 2003, 46.

⁷⁴ Harley 1974, 67.

⁷⁵ Brodrigg 1987, 41.

⁷⁶ Campbell -Pyce 2003, 46.

⁷⁷ Harley 1974, 70.

⁷⁸ Brodrigg 1987, 42.

⁷⁹ Müller 1979a, 11.

⁸⁰ Campbell – Pyce 2003, 47.

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

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

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

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

7.2.3 weitere Formen

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

⁸¹ a. a. O. 67.

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

⁸³ siehe Kap. 11.1.3

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

⁸⁵ Eurobaustoff 2018.

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

7.3 Allgemeines zur Produktion von Baukeramik

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

⁸⁹ Bender 2008, 283.

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

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

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

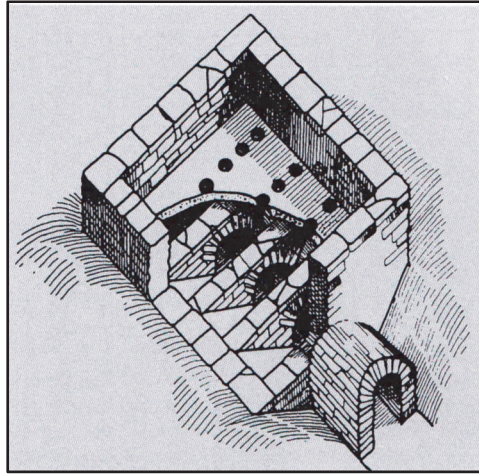


Abbildung 12 Römischer Ziegelbrennofen (Bender 2008)

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

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

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

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

⁹⁵ Berger 1969, 14.

⁹⁶ Bender 2008, 290.

⁹⁷ Schönauer 1815, 159.

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

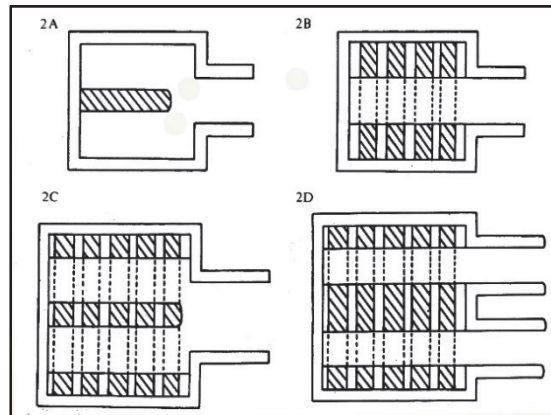


Abbildung 13 Klassen rechteckiger Brennöfen (Cuomo di Caprio 1979)

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

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

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

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

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

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

⁹⁸ Cuomo di Caprio 1979, 76.

⁹⁹ a. a. O. 76. und 1972, 25.

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

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

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

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

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

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

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

¹⁰¹ siehe Kap. 10 und Kap. 13.5

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

¹⁰³ siehe dazu auch Warry 2006, 121.

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

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

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

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

7.4 Archäologische Befunde

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

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

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

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

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

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

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

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

7.5 Prozessketten

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

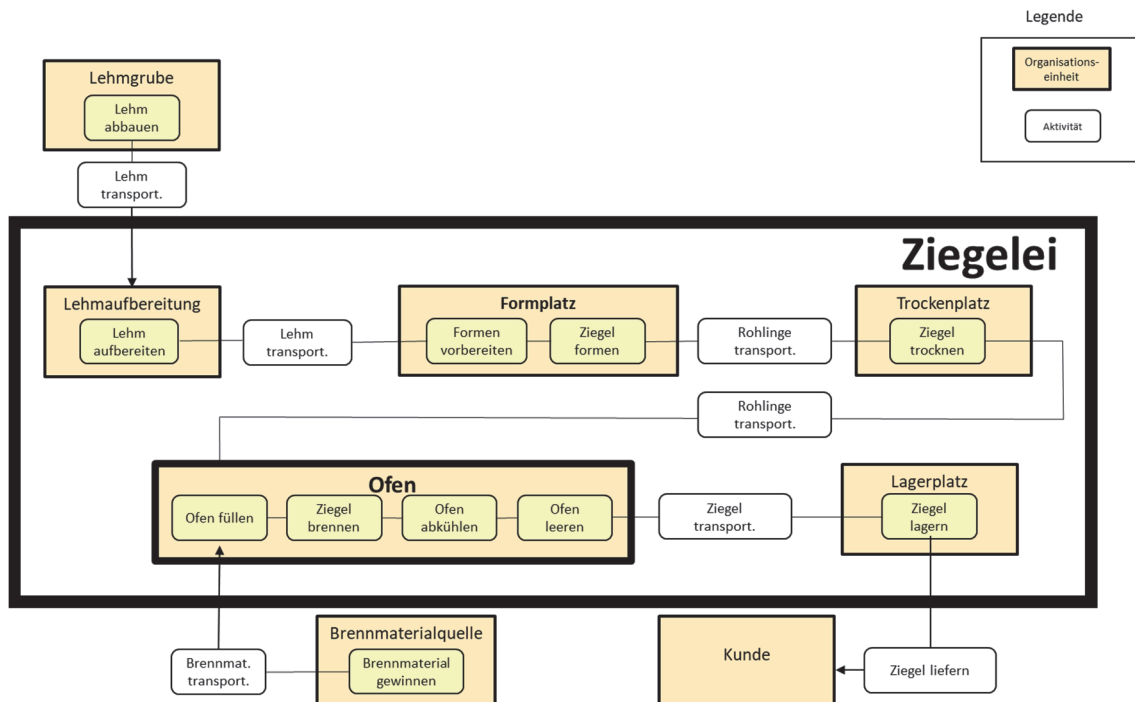


Abbildung 14 Prozesskette der Ziegelproduktion mit Lehm- und Brennmaterialgewinnung

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

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

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

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

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

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

Die je Saison mögliche Produktionskapazität errechnet sich wie folgt:

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

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

¹¹⁰ Teufel 2003, 66.

Anzahl möglicher Rohlinge je Ofenfüllung

ergibt

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

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

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

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

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

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

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

7.6 Aktivitäten

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

Inhalt

Beschreibung der Aktivität.

Besonderheiten

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

Fazit

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

Wertstellung

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

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

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

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

7.6.1 Lehm abbauen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.1

Inhalt

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

Besonderheiten

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

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

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

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

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

Fazit

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

Wertstellung

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

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

7.6.2 Lehm aufbereiten/Formen vorbereiten

Quellen hierzu: Kap. 13.2.2

Inhalt

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

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

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

Besonderheiten

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

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

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

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

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

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

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

Fazit

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

Wertstellung

Aufgrund fehlender Detaildaten werden hier Schätzungen verwendet:

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

7.6.3 Ziegel formen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.3

Inhalt

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

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

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

Besonderheiten

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

Fazit

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

Wertstellung

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

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

Tabelle 2 Zeitbedarf Formen je Ziegeltyp – Schätzungen

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

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

7.6.4 Ziegel trocknen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.4

Inhalt

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

Besonderheiten

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

Fazit

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

¹²² Weitere Betrachtungen zu den Hallengrößen: siehe Kap. 13.2.4

Wertstellung

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

7.6.5 Brennen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.5

Inhalt

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

Besonderheiten – Fazit – Wertstellung

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

7.6.5.1 Ofen füllen

Inhalt

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

Besonderheiten

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

Fazit

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

Wertstellung

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

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

7.6.5.2 Ziegel brennen – Ofen abkühlen

Inhalt

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

Besonderheiten

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

- **Brennverlauf**

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

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

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

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

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

¹²⁴ Bender 2008, 269–273.

Ofenkapazitäten

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

Brennmaterial

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

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

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

Personal

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

Fazit

Brennverlauf

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

Ofenkapazitäten

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

Brennmaterial

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

Personal

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

Wertstellung*Brennverlauf*

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

Ofenkapazitäten

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

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

Brennmaterial

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

Personal

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

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

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

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

¹²⁹ bei 12 Mh/MT je AT: 2 MT/AT.

7.6.5.3 Ofen leeren

Inhalt

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

Besonderheiten

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

Fazit

- Die Wertstellung basiert auf einer Schätzung.

Wertstellung

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

7.6.6 Ziegel lagern

Quellen hierzu: Kap. 13.2.7

Inhalt

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

Besonderheiten

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

Fazit

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

¹³⁰ siehe dazu auch Kap. 7.6.7

Wertstellung

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

7.6.7 Weitere Aktivitäten

Quellen hierzu: Kap. 13.2.7

Inhalt

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

Besonderheiten

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

Fazit

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

Wertstellung

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

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

8 Brennholz

Quellen hierzu: Kap. 13.3

Die Brennholzgewinnung ist neben der Bauholz- und Nutzholzgewinnung wesentlicher Teil der Holzwirtschaft.¹³² Bei den letztgenannten liegt der Wert des Holzes im Einsatz als Bauelemente bzw. in der Veredelungsmöglichkeit zu Produkten unterschiedlicher Verwendung. Es steht dort somit als wichtige Ressource am Anfang verschiedenartigster Wertschöpfungsketten. Der Einsatz als Brennmaterial nutzt dagegen lediglich die Eigenschaft des Materials als Energiequelle – bei dessen gleichzeitiger Vernichtung.

Das Gewinnen des Brennmaterials Holz ist vermutlich kaum von der Bau- und Nutzholzgewinnung zu trennen.¹³³ Exakte Angaben über die jeweiligen Anteile und Aktivitäten hierzu liegen aus der Antike jedoch nicht vor.

In Form einer Abschätzung für verschiedene Waldbestände wird deshalb hier versucht, Orientierungsrahmen für verschiedene Ertragspotentiale herzuleiten. Die so entstehenden Werte sind dann der maximal zur Verfügung stehende Ertrag je ha. Beim Abgleich mit den für das Ziegelbrennen benötigten Mengen ergeben sich so die Mindestflächen, die vollständig gerodet werden müssen. Bei gleichzeitiger Verwendung von Teilen des Bestandes für andere Zwecke erhöht sich zwangsläufig dieser Flächenbedarf. Exakte Werte für solche Nutzungen sind für den betrachteten Zeitraum nicht ermittelbar.

Für das Quantifizieren des Aufwandes bei der Brennholzgewinnung wurde ein Rechenmodell konstruiert, das aus den vielen möglichen Aktivitäten dieser Prozesskette diejenigen herausgreift, die in jedem Falle bei der Gewinnung und Aufbereitung von Holz für Brennzwecke anfallen, wie das Trennen (Fällen und Ablängen) beim Scheitholz und das Bündeln beim Reisig. Zu den anderen Aktivitäten, wie das Rücken und die Transporte im Wald, wurden ebenfalls Abschätzungen vorgenommen. Damit ist ein Grundgerüst für die Beschreibung der wirtschaftlichen Bedeutung des Brennholzes für die Ziegelei gelegt, wie sie für spätere Epochen berichtet wurde und die auch für die römische Zeit anzunehmen ist.

¹³² siehe dazu auch Schenk 2011, 37 Abb. 3.5. dort zitiert aus Selter 1995 Waldnutzung und ländliche Gesellschaft: landwirtschaftlicher 'Nährwald' und neue Holzökonomie im Sauerland des 18. und 19. Jahrhunderts, 370, wo die historische Waldnutzung als Teil des gewerblich-agrarischen Verbundsystems dargestellt wird.

¹³³ siehe auch Seidensticker 1886, 295 Brennholz: „Holz, welches anderweit nicht vorteilhafter zu verwerthen, resp. die Abfälle von verarbeiteten Bau- und Nutzhölzern an Beschlagspänen, Aesten, Hobelspänen etc. dienen, gemeinlich zuvor getrocknet, zur Feuer- Wärme- und Lichterzeugung in Stube, Küche, Bratöfen, Backöfen, wie in den Öfen der Industrie (Kalkbrennereien, Metall-Schmelzöfen etc.).“ und 260 „Je nach der Verwendung des Holzes unterschieden die Alten gleich wie wir noch heute: Bau-, Nutz- und Brennholz.“ zitiert nach Theophrastus Peripateticus V, 1, 12.

8.1 Bestände

Als für die ausgewählte Region und Zeitepoche repräsentative Holzart wurde Buche ausgewählt.¹³⁴ Bei Bestandsbetrachtungen werden in der Holzwirtschaft folgende Definitionen der Holzmassen eines Baumes verwendet: Nach Prodan 1965 besteht die Baummasse eines Baumes aus der Derbholzmasse und der Reisholzmasse¹³⁵

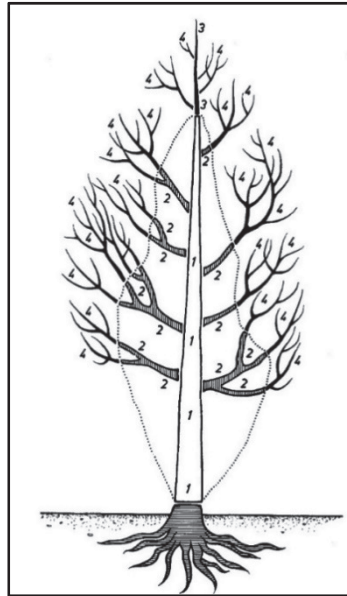


Abbildung 15 Beziehung zwischen Schaftholz (1 + 3),
Derbholz (1 + 2), Reisig (4 + 3) bzw. Schaftderb- und
Schaftreisholz (3), Astderbholz (2) und Schaftderbholz (1)
(Prodan 1965)

„Derbholz = die oberirdische Holzmasse über 7 cm D. m. R. ...“¹³⁶ „Nichtderbholz = „die übrige Holzmasse, welche in Reisig und Stockholz zerfällt. Reisig (oder Reisholz) ist das

¹³⁴ 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 Oberrheinebene zu der niederländischen Küste gut zu beobachten“; Meurers-Balke – Kalis 2006, 271 ein Pollendiagramm für die Jülicher Börde um Christi Geburt und später zeigt: Buche (und Eiche) sind immer vorhanden.

¹³⁵ Prodan 1965, 11 und Abb. 4.

¹³⁶ D. m. R: Durchmesser.

Holz unter 7 cm D. m. R. Stockholz ist das unterirdische Holz ...¹³⁷ Reisig umfasst demnach Holz < 7 cm Durchmesser. Nach Kroymann kann sein Gewicht mit 30 % des Derbholgewichtes eines Baumes angesetzt werden. (Prodan 1965)¹³⁸

Messgröße für das Holzvolumen eines Baumes und einer Waldfläche (in ha) ist die Einheit Vorratsfestmeter Vfm:

„**Vorratsfestmeter (Vfm)** wird gemessen mit Rinde, Angabe des Holzvorrates eines stehenden Baumes oder eines stehenden Waldes oder Baumbestandes und erfasst nur das Derbholz.“¹³⁹

Weitere relevante Maße bei der Volumenermittlung sind die Höhe eines Baumes in m und der Brusthöhendurchmesser BHD: „Mit Brusthöhendurchmesser (BHD) wird der Durchmesser eines stehenden Baumstammes in der Brusthöhe von 1,30 m bezeichnet.“¹⁴⁰

Für Überlegungen zu möglichen Erträgen von Buchenwäldern in römischer Zeit bieten sich heutige Ertragstabellen und -diagramme sowie Berechnungen zu Beständen in heute noch bestehenden sog. Urwäldern an. Aus einer Ertragstafel der Forstwirtschaft kann beispielsweise für Rotbuchen mit einer Höhe von 23 m für eine mittlere Ertragsklasse ein Derbholzvolumen von ca. 300 Vfm/ha abgelesen werden.¹⁴¹

¹³⁷ a. a. O., 7.

¹³⁸ Kroymann 2016; siehe auch Rea, 1902, 143: 20–30 % sowie Nagel 2017, 21 und Dieter – Englert 2001, 6, die beide Werte in dieser Größenordnung nennen.

¹³⁹ <<http://www.wald-prinz.de/festmeter-raummeter-schuttraummeter-co/551>> (15.08.2017) Erntefestmeter (Efm) entspricht einem Vorratsfestmeter abzüglich ca. 10 % Rindenverluste und ca. 10 % Verluste bei der Holzernte. Diese Detailierung wird bei den hier durchgeführten Näherungsrechnungen vernachlässigt.

¹⁴⁰ <<http://www.wald-prinz.de/brusthoehendurchmesser-bhd-vs-mittendurchmesser/3652>> (20.04.2016) Holzvolumen-Bestimmung: Bei forstlichen Bestandsaufnahmen wird über den BHD näherungsweise die Holzmasse ermittelt. Die Näherungsformel lautet: Volumen = BHD²/ 1000. Dabei wird der BHD in Zentimetern eingesetzt, das Ergebnis sind hingegen Festmeter.

¹⁴¹ Ehmig 2012, 178 „rechnet die Forstwirtschaft üblicherweise mit einem durchschnittlichen Vorrat von 200–250 fm/ha“; außerdem: zitiert Hanson 1978, 298 mit einer Annahme von 178–267 fm/ha für eine „durchschnittlichen“ Bestand; weitere Angaben zu den Beständen werden nicht gegeben.

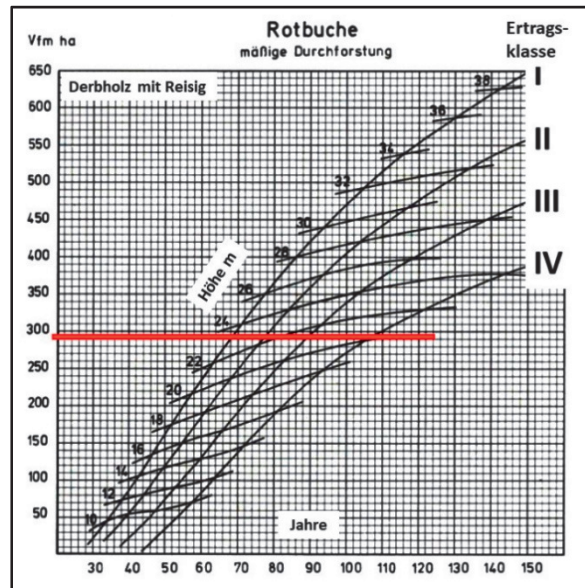


Abbildung 16 Ertragstafel Rotbuche in Vfm je ha (Schober 1975)

Eine weitere Tafel liefert für 1795 einen Wert von ca. 300 Vfm/ha für ca. 60 Jahre alte Buchen an einem „guten“ Standort sowie eine Anzahl Stämme je ha für einen solchen Ertragswert:

Alter Jahre	Stammzahl	Vorrat cbm je ha
20	3644	75
28	911	149
36	405	205
44	228	249
52	146	280
60	101	305
68	74	330
76	57	349
84	45	367
92	36	380
100	30	391
110	25	398
120	21	398

Tabelle 3 Buchen-Ertragstafel für gute Standorte (Gadow, 2005)

Zusätzlich wurden mir von Herrn Kroymann (Landesbetrieb Wald und Holz NRW RFA Hocheifel-Zülpicher Börde – Revier Hocheifel) aus Ertragstafeln für die Ertragsklasse 2 Bestandswerte genannt, die für verschiedene Bestände zu folgenden Ertragswerten umgerechnet werden konnten:¹⁴²

¹⁴² Kroymann 2016.

Bestand 1

- 6,7 m hoch; 4,3 cm Durchm.; 0,01 fm/Stamm: 8kg Derbholz trocken/Stamm; ca. 9 Jahre alt (a);¹⁴³
- 8.952 Stämme/ha;
- **90 Vfm/ha**¹⁴⁴

Bestand 2

- 17,9 m hoch; 14,6 cm Durchm.; 0,16 fm/Stamm: 125 kg Derbholz trocken/Stamm; ca. 28 a;
- 1.391 Stämme/ha;
- **220 Vfm/ha**¹⁴⁵
Eine eigene Erhebung eines Buchenwaldes in Hümmel, ca. 400 m hoch gelegen, viele Jahre bewusst ohne Waldwirtschaft, ergab:¹⁴⁶

Bestand 3

- 20 m hoch mit geschlossenem Kronendach; BHD 50 cm; 2,0 fm/Stamm; 1,6 t Derbholz/Stamm; ca. 90 a;
- 196 Stämme/ha;
- **390 Vfm/ha**¹⁴⁷
mit zusätzlich
- 1–2 Bäume je Alt-Baum:
- 5 m hoch; 10cm BHD; 0,02 fm/Stamm; 16 kg Derbholz/Stamm; ca. 18 a;
- 300 Stämme/ha;
- **6 Vfm/ha**¹⁴⁸

Auffallend ist ein Vergleich von **Bestand 3** in Hümmel mit einem als Urwald bezeichneten Bestand im Naturpark Bialowieza im Osten Polens (siehe Kap. 13.3.1).

¹⁴³ <<http://www.forst-rast.de/pflrechner05.html>> (15.08.2017).

¹⁴⁴ entspricht 70 t/ha trocken – 280 MWh/ha; ca. 1 m² Waldfläche/Stamm; + 30 % Reisig: 27 Vfm/ha – 21 t/ha trocken – 84 MWh/ha.

¹⁴⁵ entspricht 175 t/ha trocken – 700 MWh/ha; 7 m² Waldfläche/Stamm; + 30 % Reisig: 66 Vfm/ha – 51 t/ha trocken – 204 MWh/ha.

¹⁴⁶ Ldks. Ahrweiler.

¹⁴⁷ entspricht 310 t/ha trocken – 1.200 MWh/ha; 6–7 m Entfernung zw. den Bäumen; 51 m² Waldfläche/Stamm; + 30 % Reisig: 117 Vfm/ha – 91 t/ha trocken – 360 MWh/ha.

¹⁴⁸ entspricht 4,7 t/ha trocken – 19 MWh/ha; 33 m² Waldfläche/Stamm; + 30 % Reisig: 2 Vfm/ha – 1,6 t/ha trocken – 6 MWh/ha.

Die Bestände sehen sich hinsichtlich der Dicke der Bäume, der Art des Bewuchses und der Dichte sehr ähnlich; eine Verwendung der Daten aus **Bestand 3** für Berechnungen kann deshalb Orientierungswerte für Bestandsdaten liefern – sofern für die römische Zeit Urwälder in der betrachteten Region anzunehmen sind.

Es liegen damit drei grobe Bestandswerte für Buchenwälder unterschiedlichen Alters aus verschiedenen Quellen vor:¹⁴⁹

Bestand 1 90 Vfm/ha für einen jungen Buchenwald mit ca. 7 m hohen Stämmen ca. 9 Jahre alt

Bestand 2 220 Vfm/ha für ca. 18 m hohe Bäume, 28 Jahre alt

Bestand 3 390 Vfm/ha für ca. 20 m hohe Bäume, ca. 90 Jahre alt

Die Wälder in römischer Zeit sind damit nicht abgebildet. Jedoch bietet die Ähnlichkeit der Bestände in Hümmel (**Bestand 3**) und Bialowieza die Möglichkeit eines Brückenschlages zu einem naturbelassenen Wald, wie er vielleicht in der hier betrachteten Epoche gewesen sein könnte. Für jüngere Wälder mit geringer Holzmasse könnten die Bestände 1 und 2 Orientierungsdaten liefern. Den hier verwendeten Beständen an Derbholz ist dann, wie oben genannt, noch der Ertrag von 30% Reisig hinzuzufügen. Es ergäben sich dann bei Kahlschlag (ohne Stockholz) je ha:

	fm	Anz Stämme	fm
	Derbholz		Reisig
	fm/ha		fm/ha
Bestand 1	90	8.952	27
Bestand 2	220	1.391	66
Bestand 3	390	196	117

Tabelle 4 Vorratsfestmeter und Anzahl Stämme je Bestand

Bei diesen Betrachtungen zu Ertragsbeständen wird üblicherweise kein im Wald ebenfalls vorkommendes Tot- oder Leseholz angesprochen.¹⁵⁰ Es steht grundsätzlich ebenfalls für den Einsatz als Brennmaterial für Ziegelöfen zur Verfügung. Jedoch sind die Mengen je ha für einen industrieähnlichen Betrieb der hier betrachteten römischen Ziegeleien sicherlich nicht ausreichend:

¹⁴⁹ siehe dazu auch weitere Quellen und -diskussionen in Kap. 13.3.1

¹⁵⁰ <<http://www.wald.de/was-ist-totholz-wie-viel-braucht-der-wald-davon/>> (05.10.2017): „Unter dem Begriff ‚Totholz‘ versteht man stehende und liegende Bäume oder Teile davon, die abgestorben sind.“ <<http://www.woerterbuchnetz.de/DWB?lemma=leseholz>> (06.10.2017): „Leseholz nach dem Grimm’schen Wörterbuch: ‚dürres Holz, das armen Leuten aus den Wäldern aufzulesen erlaubt ist““

Daten zum Totholzvolumen aus Wäldern der römischen Zeit liegen selbstverständlich auch hier nicht vor. Angaben zu heutigen Wäldern liefern relativ geringe Werte: Bö-nisch 1998b, 32 zitiert eine Holzentnahme „schadfrei“ aus Skandinavien von 100–130 kg/ha je Jahr. Hessenmöller u. a. 2012, 5 nennen für heutige Buchenwälder einen Bestand von ca. 17 m³/ha Totholz. Dieser kann jedoch nur einmalig entnommen werden. Nach Kroymann 2016 sind in einem 30jährigen Bestand alle 20 Jahre 5,1 fm Reisig je ha einsammelbar. Selbst für einen Ofen mit 15 m³ Brennkammervolumen werden diese Mengen für ein Jahresprogramm nicht ausreichen, da bereits für einen einzigen Brand nach obiger Berechnung beispielsweise 3,8 t bzw. 4,9 fm Buchenholz benötigt werden. Tot- bzw. Leseholz sollen deshalb als Brennmaterialquelle für die Betrachtungen zu römischen Ziegeleien hier ausgeschlossen werden.

Ein weiterer Aspekt bei der Ermittlung des möglichen Ertrages von Waldbeständen und deren Verwendung für das Ziegelbrennen sind die unterschiedlichen Proportionen im Verhältnis Scheitholz zu Reisig: Der Wald liefert bei den hier betrachteten Beständen zusätzlich zum Derbholz 30% Reisig (gemessen in fm oder kg). Dies ergibt eine Relation 77% Derbholz und 23% Reisig. Bei den hier untersuchten – und für das Betriebsmodell unterstellten – Bränden wird je Brand eine Relation von 55% Scheitholz und 45% Reisig verwendet. Im Falle eines Kahlschlages und bei ausschließlicher Verwendung des so gewonnenen Holzes wird für das Ziegelbrennen weiteres Reisig, z. B. aus Buschwerk oder aus Fällungen zu anderen Zwecken, z. B. für Bau- oder Nutzholz, benötigt.

Rein rechnerisch ist auch folgendes Szenario denkbar: Das benötigte Reisig wird ausschließlich aus Fällungen (mit den verwendeten Ertragsanteilen) gewonnen. Dann würde im Vergleich zu einer Bemessung nach Derbholz die doppelte Menge Bestand einzuschlagen sein; das „zu viel eingeschlagene“ Derbholz stünde dann für andere Zwecke, z. B. zur Köhlerei zur Verfügung. Diese wiederum benötigt kein Reisig und könnte ein idealer Abnehmer hierfür sein. Auch Koppelproduktionen mit der Erzeugung von Bau- und Nutzholz sind zu vermuten – wenn nicht gar sehr wahrscheinlich.¹⁵¹ Berechnungen hierfür sind jedoch zu komplex und für eine Modellbetrachtung nicht genügend praxisnah.

¹⁵¹ Nach Bechstein 1821, 26 sind sie zu Anfang des 19. Jhs. die Regel; es wird nur das Holz zu Brennholz verarbeitet, „was nicht zu einem anderen nützlichern Gebrauche tauglich ist“.

8.2 Gewinnung

Die Prozesskette für Brennholzgewinnung ist lediglich über eine Schnittstelle im Materialfluss (nicht in direkter zeitlicher Verbindung) mit der der Ziegelherstellung verknüpft: das Brennholz muss zu Beginn der Ziegelherstellung in der Ziegelei verfügbar sein.

Sie kann aus den Arbeitsgängen in der detaillierten „Hiebsanweisung für Buchenbaum- und -stangenholz“ von Weber 1950, 17/18 abgeleitet werden:¹⁵²

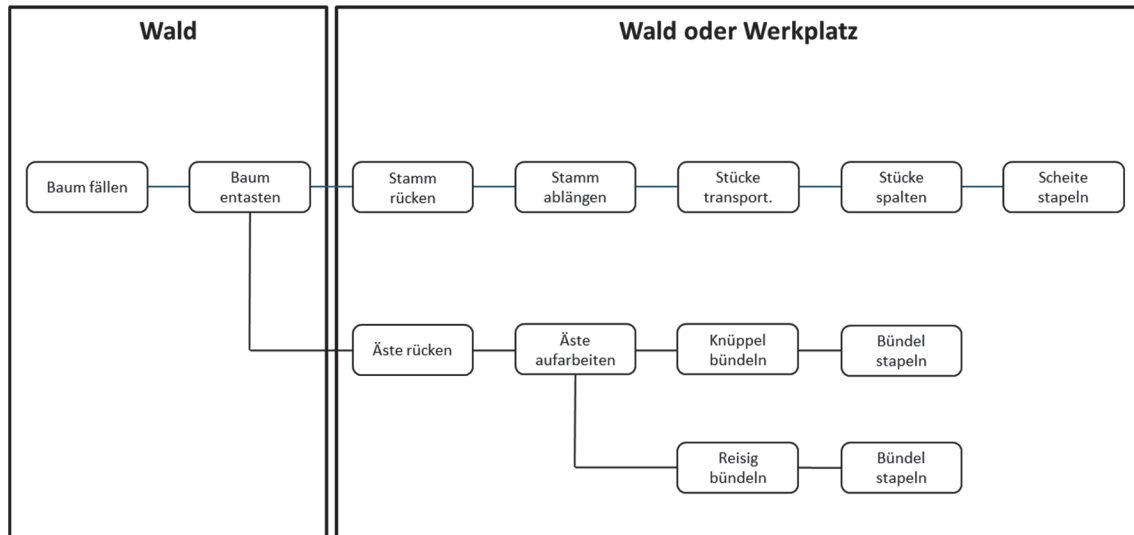


Abbildung 17 Prozesskette der Brennholzgewinnung

Martín Seijo u. a. 2012, 119 nennen für die Beschreibung des Prozesses für die Brennholz- und Bauholzproduktion (von ihnen als *chaîne opératoire* bezeichnet)¹⁵³ während des 3. und 2. Jahrtausends in Nordwesten der iberischen Halbinsel „four main stages“:

- i. raw material procurement (supply)
- ii. preparation (transport, support configuration: to cut off branches or bark, to rough-hew and split the trunk, etc.)
- iii. product preparation (storage, drying and shaping)
- iv. final product (energy or structures/objects)“

Sie schließen demzufolge die Bestandsermittlung in ihre Prozesskette ein; Feuerholz wurde durch Sammeln gewonnen.¹⁵⁴ Als Werkzeug für das Fällen der Bäume werden Äxte „oder manchmal Seile für das Niederziehen“ genannt. Quantitative Angaben zu den

¹⁵² siehe Kap. 13.3.2

¹⁵³ definiert als „a series of operation which brings primary material from its natural state to a fabricated state.“

¹⁵⁴ Vermutlich für den Hausbrand; exakte Beschreibungen hierzu werden nicht gegeben.

Aktivitäten sind nicht aufgeführt. Eine wesentliche Maßnahme bei der Erzeugung von Brennholz wird dagegen explizit genannt: das Trocknen, sowohl des Bauholzes als auch von Brennholz. 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)¹⁵⁵. Beim Fällen und Aufarbeiten von Bäumen und der dazu benötigten Zeit ist eine Vielzahl von Faktoren wirksam, die erhebliche Schwankungen im Zeitbedarf erzeugen können.¹⁵⁶ Häberle 1967, 40 nennt sog. „Schwierigkeitskonstanten“, die bei der Zeitfindung für den Haubetrieb zu berücksichtigen sind:

- Art des Hiebseingriffes: Kahlhieb – Durchforstung – etc.
- Fällungsrichtung: bergab – horizontal – bergauf
- Beastung: gering – mittelmäßig – stark
- Bearbeitungszustand während der Dauer des Hiebes: Saftzeit – außerhalb Saftzeit, jedoch
- kein Frost ... – häufig oder dauernd strenger Frost etc.¹⁵⁷

Diese Parameter sind sicherlich auch für die römische Zeit zu berücksichtigen. Im ersten Schritt einer Bedarfskalkulation (Berechnungen in Tabelle 20) wurden sie zunächst zurückgestellt. Die Anpassung der dort ermittelten Werte erfolgte im Nachhinein durch prozentualen Zuschlag. Für rein theoretische Betrachtungen liegen keine verwertbaren Angaben vor.

Den Aufwand für das Fällen und Aufarbeiten von Holz aus einem Baum in Holz-scheite und Reisigbündel liefert eine Studie in Form einer Zeitkalkulation, die für einen „Referenzbaum“ angelegt und anschließend auf andere Baumgrößen in den o. g. Beständen ausgeweitet wurde (Rechentabelle und Erläuterungen hierzu: Kap. 13.3.2):

¹⁵⁵ <<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 von einer nicht unerheblichen Vorlaufzeit der Fällarbeiten vor dem Einsatz im Ziegelofen auszugehen. Die entsprechenden Waldarbeiten sollten demzufolge ausreichend früh vor Beginn einer Brennsaison begonnen haben; d. h., eine gezielte Holzwirtschaft im Umfeld einer industrieähnlich betriebenen Ziegelei ist anzunehmen.

¹⁵⁶ Schriewer 1995, 133 verweist in diesem Zusammenhang auf die generelle Problematik in der Waldarbeit der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts auf „gerechte“ Entlohnung für Waldarbeiter zu kommen; d. h., Leistungen bei der Waldarbeit vergleich- und bewertbar zu machen.

¹⁵⁷ Konkrete Zahlenangaben werden hierzu nicht genannt.

- Referenzbaum: Buche mit BHD = 20 cm; Höhe = 18 m
- 25 Mh/fm Derbholz in Scheiten von 50 cm Länge
- 9 Mh/fm Reisig in 7 kg Bündeln
- daraus abgeleitet für Stämme mit geringeren und stärkeren BHD:

geringere BHD

ohne Spalten in Scheite: ca. 15–19 Mh/fm (+ 9 Mh/fm Reisig)¹⁵⁸

mit Spalten in Scheite: 25 Mh/fm (+ 9 Mh/fm Reisig)

stärkere BHD:

mit Spalten: 25 Mh/fm (+ 9 Mh/fm Reisig)

Zusätzlich zu diesen für einen Stamm unabdingbaren Zeitdauern fallen noch die Rüst- und Verlustzeiten nach Weber 1950, 24 (10–30%) an. Außerdem sind Zeiten für Rückarbeiten,¹⁵⁹ Arbeitsplatzvorbereitungen, das Stapeln von Scheiten, Werkzeuginstandhaltung und die oft nicht unerheblichen Wegezeiten der Mitarbeiter zwischen Wohn- und Arbeitsplatz¹⁶⁰ zuzuschlagen. Darüber hinaus sind die „Schwierigkeitskonstanten“ – sicherlich für die Holzwirtschaft in der Antike mit vermutlich wenig Infrastruktur in den Wäldern und den Wegen dorthin ein nicht zu unterschätzender Faktor – hinzuzufügen. Eine Verdopplung der berechneten Werte (nach Zuschlag von 30% nach Weber) erscheint deshalb durchaus angemessen:

65 Mh/fm Derbholz bzw. 23 Mh/fm Reisig werden deshalb als Rechengrößen verwendet. Falls das Brennholz ausschließlich in einer Koppelproduktion mit Nutzholz (nur aus den Spitzen und den Ästen eines Baumes) gewonnen wird, ist folgendes Szenario denkbar:

Das Aufarbeiten dieser Baumteile zu Brennholz benötigt möglicherweise kein Spalten. Es fallen nur die genannten ca. 15–19 Mh/fm (+ Zuschläge) an. Da jedoch für die gleiche Menge Brennholz eine erheblich größere Fläche Wald eingeschlagen werden muss, entstehen größere Entfernungen für das Rücken der Stücke. Der Zeitaufwand hierfür dürfte erheblich ansteigen. Der Gesamtaufwand für das Brennholz kann auch für diese Abbauform die o. g. Wertebereiche durchaus erreichen – wenn nicht gar übersteigen.

Das für die Brennholzgewinnung eingesetzte Personal muss nicht zwangsläufig aus dem Personal der Ziegelei rekrutiert werden: Nenninger 2001, 174 nennt beispielsweise für den Fundort Vindolanda eine Abrechnung über den Ankauf von Brennholz durch das Militär; d. h. die Ziegelei hat das Brennholz zugekauft. Andererseits bezeichnet Davies

¹⁵⁸ Die (dünnen) Stämme können ohne weiteres Spalten direkt als Brennmaterial verwendet werden.

¹⁵⁹ Nach Hartig 1851, 255 wird der Transport von Holz über beträchtliche Entfernungen selbst im vorletzten Jahrhundert noch vielfach durch händisches Tragen abgewickelt.

¹⁶⁰ nach Schwartz 1989, 36.

1989, 41 das Baumfällen als Aktivität römischer Soldaten. Vermutlich sind mehrere Varianten bei der Auswahl des Personals für die Brennholzgewinnung als realistisch anzunehmen.

Warry 2006, 121 weist bei seiner Ermittlung der „costs, expressed in man-days per cubic metre of brick“ für „obtaining fuel for kiln“ einen Anteil von 61 % aus. Er orientiert sich bei seinen Berechnungen an Daten aus der Arbeit von DeLaine 2001, 234, die dort jedoch keine Personalbedarfe für Brennmaterial ausweist. Vielmehr verwendet er die dortige Auslastung des Personals der Ziegelei während eines Jahres (d. h. die Ziegelherstellung erfolgt nur in den Sommermonaten)¹⁶¹ und setzt die nicht für das Ziegelbrennen benötigten Zeiträume als Zeit an, in der die Mitarbeiter für die Brennmaterialgewinnung tätig sind. Die Bemessung des Personalbedarfes erfolgt demnach nach Verfügbarkeit von Personen und nicht nach Aufwand für das Tätigsein. Diese Art der Verknüpfung von Ziegelherstellung und Brennmaterialgewinnung ist jedoch eher als Sonderfall anzusehen. Er zeigt jedoch die Problematik bei der Ermittlung des Personalbedarfes für die Brennmaterialgewinnung.¹⁶²

¹⁶¹ Wegen fehlender Details sind diese Berechnungen nicht nachvollziehbar.

¹⁶² Zur Bedeutung der Brennmaterialkosten: siehe die oben zitierten Ausführungen von Hollestelle 1961, 44. Dabei ist zu beachten, dass in den Brennmaterialkosten nicht nur die Fäll- und Aufarbeitungskosten, sondern auch die Kosten für Rückarbeiten im Wald, für die Aktivitäten bei der Trocknung und für die Transporte zur Ziegelei enthalten sind. Letzteres ist insbesondere für waldarme Regionen von Belang.

9 Transporte

Quellen hierzu: Kap. 13.4

Im Zusammenhang mit der Ziegelherstellung fallen sowohl innerbetriebliche als auch außerbetriebliche Transporte an. Die innerbetrieblichen sind dabei Elemente der Prozesskette, die die Aufbereitungs-, Form- und Brennaktivitäten miteinander verbinden und die nur mit einer solchen Verknüpfung technologisch sinnvoll ablaufen können. Die ausführenden Mitarbeiter sind demzufolge zur Belegschaft einer Ziegelherstellung zu zählen. Die für die Anlieferung der Rohstoffe, des Brennmaterials oder den Abtransport der Fertigwaren notwendigen Aktivitäten weisen dagegen diese engen Verknüpfungen nicht auf; sie können zeitlich versetzt vor bzw. nach Beginn der Ziegeleiarbeiten auch von anderen Gruppen (Transporteuren) ausgeführt werden.

Die durch sie erbrachten Leistungen stellen jedoch einen großen Aufwand dar, der hier nicht unberücksichtigt bleiben soll, da ohne sie eine Ziegelei nicht betrieben werden kann.

Zur Ermittlung dieser Aufwendungen werden die verschiedenen Transportmöglichkeiten mit ihren aus der Literatur gewonnenen Leistungsgrößen herangezogen.¹⁶³

Bestimmende Größen eines Transportauftrages sind die Transportmenge (in t oder m³) und die Länge des Transportweges. Die Verknüpfung dieser beiden Faktoren wird als Verkehrsarbeit VA mit der Einheit t*km oder m³*km bezeichnet.¹⁶⁴ Die Transportleister bieten zur Verrichtung dieser Arbeit ihr jeweiliges Leistungsprofil an; spezifiziert als maximale Kapazität in kg oder m³ je Einheit sowie die Transportgeschwindigkeit in km/h und die daraus sich ergebende Verkehrsleistung VL in t (oder m³)*km/h.¹⁶⁵

¹⁶³ Im Gegensatz zu den anderen Aktivitäten der Prozesskette bei der Ziegelherstellung stehen hier nicht die Bedarfe an Personalkapazität, sondern an technischem Gerät, wie z. B. Wagen mit Zugtieren oder Transporttieren bzw. deren mögliche Transportleistungen im Vordergrund der Betrachtungen.

¹⁶⁴ <<http://www.enzyklo.de/Begriff/Verkehrsarbeit>> (03.04.2018).

¹⁶⁵ siehe dazu auch Pegoretti 1863, 19 Transportleistung eines Transportmittels, errechnet aus transportierter Last, der Geschwindigkeit je h, der Arbeitszeit je Tag zu: „effetta dinamico diurno in tonnellate per chilometro“, d. h. Tagesleistung in t*km/Tag.

Damit stellt beispielsweise ein Transport von 10 t Ziegel über 10 km Weg eine VA von 100 t*km dar. Wenn dafür 2 Tage mit je 10 h zur Verfügung stehen, beträgt die geforderte VL 5 t*km/h.

Ein Karren mit 500 kg Fassungsvermögen und einer Fahrgeschwindigkeit von 4 km/h hätte eine VL von 2 t*km/h, könnte diesen Auftrag nicht alleine abwickeln. Es wären rechnerisch 2,5 (d. h. real 3) Karren gleichzeitig einzusetzen.

Durch einen solchen Abgleich von VL eines Auftrages und der Leistungsfähigkeit eines Transportmittels VL kann, bei vorgegebener Zeit leicht die Anzahl erforderlicher Fahrzeuge berechnet werden. Oder bei nicht vorgegebener Zeit ist zu ermitteln, wie lange ein ausgewähltes Fahrzeug für einen Transportauftrag benötigen würde. (z. B.: für 100 t*km und 2 t*km/h wären dies 50 h)

Als Basis für Modellrechnungen wurden deshalb für die verschiedenen Transportarten die jeweiligen VL ermittelt. Dazu wurden die jeweiligen Kapazitäten und Geschwindigkeiten aus der Literatur ausgewertet und zur VL verknüpft.

Außerdem ist bei Berechnungen zu Transporten zu berücksichtigen, dass zusätzlich zur Lastfahrt eines Transports in der Regel auch die Rückfahrt – vermutlich oft als Leerfahrt – anfällt. Dadurch sinkt die VL um die Hälfte (gleiche Fahrgeschwindigkeit vorausgesetzt); außerdem fallen noch die Zeiten für das Auf- und das Abladen der Güter an.¹⁶⁶ Mögliche Unterschiede in den Geschwindigkeiten bei Last- und Leerfahrt sollen für den Landtransport hier unberücksichtigt bleiben.

9.1 Verkehrsleistungen

Inhalt

Verkehrsleistungen VL verschiedener Transportarten $t \cdot \text{km/h}$ bzw. $\text{m}^3 \cdot \text{km/h}$

Besonderheiten

Interne Transporte

Eine Auflistung aller im Produktionsbetrieb anfallenden Transporte ist nicht möglich. Als wesentlich und ablaufbedingt grundsätzlich anfallend werden hier die Transporte des aufbereiteten Lehms zu den Formplätzen, der Transport der Rohlinge zum Trockenplatz, der Transport der Rohlinge vom Trockenplatz zum Ofen und der Transport der gebrannten Ware zum Lagerplatz herausgegriffen und mit einer Wertstellung belegt.

Externe Transporte

Die VL je Transportmittel können z. T. stark schwanken; beispielsweise hängt die Fahrgeschwindigkeit eines Transportfahrzeuges von der Qualität der Fahrbahn und den evtl. vorhandenen Steigungen ab. Welche Arten von Transporten für die Auslieferungen der Produkte einer Ziegelei anzunehmen sind, hängt sicherlich von den Wegbeschaffenheiten und den relativ großen Massen der Ware Ziegel ab. Dabei sind sicherlich der Schiffs-transport und der Einsatz von Gespannen mit starken Tieren (insbesondere Ochsen) die gängigsten. Bei den Fahrzeugtypen wurden römische Wagen ausgewählt, für deren maximale Belastungen historische Angaben vorliegen.

¹⁶⁶ Pegoretti 1863, 28 nennt als Formel zur Berechnung der Transportzeit: $\frac{2x}{a+b} + tq$; darin: x = Entfernung („la distanza in cui il trasporto di questi materiali viene ad importare la medesima spesa“); a = Geschwindigkeit Lastfahrt; b = Geschwindigkeit Leerfahrt („gli spazi percorribili ogni ora col carico e senza carico“); tq = Zeit für Be- und Entladen („t i perdi pei carichi e scarichi delle materie; q la quantità dei materiali trasportabili ogni viaggio“).

Fazit

Die Angaben sind Orientierungswerte, aus denen die für die jeweiligen lokalen Gegebenheiten eines Befundes relevanten ausgewählt wurden.

Wertstellungen

*Interne Transporte*¹⁶⁷

Transport des aufbereiteten Lehms zu den Formplätzen

Annahme: Dies erfolgt durch den dem Former direkt zugeordneten Mitarbeiter (Lehmaufbereiter).

Transport der Rohlinge zum Trockenplatz

Annahme: 1 Mitarbeiter je Formplatz; sog. Abträger während der gesamten Zeit für das Formen (kontinuierlich anfallend während des Formens).

Transport der Rohlinge vom Trockenplatz zum Ofen

Annahme: 1 Mitarbeiter je Formplatz; dieser ist während des Trocknens auch am Trockenplatz tätig. Beim Antransport der Rohlinge wird er zusätzlich von einem anderen Mitarbeiter, z. B. einem Springer, unterstützt.¹⁶⁸

Transport der gebrannten Ware zum Lagerplatz

Hier gelten vermutlich die gleichen Verhältnisse wie beim Transport der Rohlinge vom Trockenplatz zum Ofen; entsprechend soll deshalb auch hier verfahren werden: Der Mitarbeiter für das Fertigwarenlager (1 Mitarbeiter je Formerplatz) übernimmt zusammen mit einem Springer oder einem anderen temporär freien Mitarbeiter der Ziegelei den Abtransport.

Externe Transporte

Aus der Vielzahl der Quellen wurden hier Transportmittel ausgewählt, die im Umfeld einer Ziegelei anzunehmen sind. Dabei wurden die jeweiligen maximalen Lasten übernommen. Bei den Geschwindigkeitsangaben erfolgten dagegen Reduzierungen. Damit soll berücksichtigt werden, dass für Transporte zu Lande im Umfeld einer Ziegelei, insbesondere für die Anlieferung von Lehm und Brennmaterial, nicht die gleiche Qualität der Wege anzunehmen ist wie bei Überlandtransporten. Außerdem werden Transporte mit Tieren – mit und ohne Karren – als von einer Person begleitet unterstellt. Damit ist nur maximal Schrittgeschwindigkeit möglich.

¹⁶⁷ siehe dazu auch die oben genannte Zuordnung des Personals in den sog. Pflügen bei der Herstellung von Mauerziegeln im 19. und 20. Jh.

¹⁶⁸ Als Bemessungshilfe kann hier folgende Betrachtung dienen: Bei einer Befüllung eines Ofens mit 26 m³ Brennkammer (im Betriebsmodell Dormagen) mit 26 t Ziegeln und einem angenommenen Anlieferungsweg von 25 m fällt eine VA von 0,65 t*km an; ein Mitarbeiter leistet bei 25 kg Belastung und 2,7 km/h 0,068 t*km/h; bzw. bei Berücksichtigen des doppelten Weges (Hin- und Rückweg) 0,034 t*km/h. Der Zeitaufwand für den Antransport beträgt dann: 0,65/0,034 = 16 h. Beim Einsatz von 2 Mitarbeitern ist die Arbeit in 8 h verrichtbar. Der zweite Mitarbeiter würde hier der sog. Springer sein können.

Mitarbeiter manuell

25 kg mit 2 km/h – VL 0,05 t*km/h

Mitarbeiter manuell mit Beutel/Korb o. ä.

40 l mit 2 km/h – VL 0,08 m³*km/h

Mitarbeiter mit Karre/Schubkarre o. ä.

Handkarre 25 l = 50 kg Lehm mit 2 km/h – VL 0,1 t*km/h

Handkarre 75 l Reisig mit 2 km/h – VL 0,15 m³*km/h

Pferd ohne Karren

180 kg mit 2 Taschen mit 2–4 km/h – VL 0,36–0,72 t*km/h

Esel ohne Karren

55 kg mit 2–4 km/h – VL 0,11–0,22 t*km/h

Muli ohne Karren

120 kg mit 2–4 km/h – VL 0,24–0,48 t*km/h

Tiere mit Karren o. ä. z. B. *carrus* oder *plaustrum*

300 kg mit 2–4 km/h – VL 0,6 – 1,2 t*km/h

500 kg mit 2–4 km/h – VL 1,0 – 2,0 t*km/h

2 m³ mit 2 – 4 km/h – VL 4 – 8 m³*km/h

Schiff (Flussschiffahrt):

12 t (Prahm) mit 1 km/h (Treideln gegen den Strom)¹⁶⁹ – VL 12 t*km/h

5 km/h (mit dem Strom) – VL 48 t*km/h

90 t mit 4 km/h – VL 360 t*km/h¹⁷⁰

¹⁶⁹ Frenz 1982 80 f zeigt anhand von Grabreliefs aus verschiedenen Regionen, dass das Treideln in römischer Zeit eine verbreitete Art des Schiffstransportes gewesen ist. Als Ergänzung zu den Angaben aus spiegel.de/wissenschaft/mensch/schiffs-experiment mit 12 t Maximallast und bis zu 10 km/h beim Segeln auf stehendem Gewässer wurden für die Geschwindigkeiten für fließende Gewässer mangels Angaben aus dem Experiment eigene Schätzungen verwendet.

Das Treideln leerer Schiffe gegen den Strom könnte schneller erfolgen als unter Last: deshalb werden 2 km/h hierfür angesetzt.

¹⁷⁰ Treideln solch großer Schiffe in beladenem Zustand sind wegen des hohen Aufwandes an Treidelpferden (siehe www.zeitspurensuche.de) vermutlich nicht anzunehmen.

Flößen

Generell besteht für das Anliefern von Brennmaterial an Ziegeleien, die nahe an Flüssen liegen, auch die Möglichkeit des Flößens; sowohl in Form von fertigen Holzscheiten als auch in Form von Stämmen, die am Verwendungsort zu Scheiten aufgearbeitet werden. Der Aufwand für diese Art des Transports besteht aus dem Bündeln der Flöße, dem Einsetzen in den Fluss, dem Treideln/Staken, dem Anlanden und dem Antransport auf das Trockenlager. Flößen ist demnach eine Transportart, für deren Quantifizierung eine eigene Prozesskette rekonstruiert werden müsste.¹⁷¹ Aufgrund der großen Vielfalt der darin enthaltenen Aktivitäten wird hier darauf verzichtet.

Entfernungen pro Tag

Zusätzlich zu diesen Parametern ist neben der Berechnung der benötigten Transportkapazität die Begrenzung der möglichen Tagesleistung (Entfernung) der einzelnen Transportmittel durch natürliche Ermüdung etc. zu berücksichtigen. Sie bedingt u. U. einen Wechsel des Transportmittels oder der „Tragenden und Ziehenden“. Der Zeitbedarf für den Wechsel wurde hier nicht berücksichtigt; er kann lediglich als qualitatives Indiz für die Wahrscheinlichkeit von Transportmodellen und -varianten dienen.¹⁷²

¹⁷¹ Eine solche Art der Brennmaterialwirtschaft mit einer Anlieferung im Wasser setzt zudem einen hohen Organisationsgrad und ein präzises Durchlaufen der Prozesskette voraus, wenn das Material bedarfsgenau am Ofen einsetzbar sein soll: Das durch den Transport durchfeuchtete Holz benötigt zusätzliche Zeit für das Trocknen (am Einsatzort) und verlängert dadurch die Vorlaufzeit für die Abgabe der Bestellung und die Prozesszeit erheblich. Darüber hinaus müssen zusätzliche Flächen für das Trocknen in der Nähe der Ziegelei eingerichtet werden. Da zudem Reisig nicht flößbar ist, wird außerdem hierfür ein eigenes Gewinnungs- und Transportkonzept notwendig.

¹⁷² Die gilt auch für die Relationen der Transportarten zueinander: Hierzu werden in der Literatur sog. Transportfaktoren in Relation zueinander angegeben; beispielsweise See : Kanal : Fuhrwerk : Lasttier. Details siehe Kap. 13.4.4 Beispiele: Schenk 2017, 1 : 3 : 9 : 27; Rackham 1982, 214 aus Preisen errechnet: road : inland waterways : coastal shipping = 1 : 2,4 : 11 für das Mittelalter oder Tilbur 2007, 68 „The majority of goods transport was carried by ship. Compared with river or sea transport, road transport had so many disadvantages that the Romans avoided it as much as possible. Cargo transport was slow and expensive. Roads were used only when there were no other alternatives.“
Darin wird deutlich, welche Bedeutung der Schiffstransport für die schwere Ziegelware gehabt hat, da ein Landtransport einen wesentlich höheren Transportfaktor als ein Transport zu Wasser aufweist.

9.2 Be- und Entladen

Inhalt

Das Auf- und Abladen des Transportgutes auf das Transportfahrzeug bzw. auf das Transportmedium (Mensch/Tier)

Besonderheiten

Oftmals werden diese Tätigkeiten von den Mitarbeitern erledigt, die auch den Transport vornehmen bzw. begleiten und der Zeitbedarf für das Be- und Entladen nicht gesondert ausgewiesen.

Fazit und Wertstellung

Es liegen nur sehr wenige Quellen hierzu vor, die jedoch für Erden und Steine den gleichen Wertebereich von $0,6 - 1 \text{ m}^3/\text{h}$ ¹⁷³ nennen. Für die hier anzustellenden Berechnungen sind $0,8 \text{ m}^3/\text{h} = 1,6 \text{ t/Mh}$ bei Lehm verwendet worden.

¹⁷³ Bei Holztransporten werden bis zu $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ angegeben (siehe Kap 13.4).

10 Weitere Daten/Berechnungsarten

Quellen hierzu: Kap. 13.5

Zur Erarbeitung eines Betriebsmodells für einen archäologischen Befund sind neben den spezifischen Daten zu den einzelnen Aktivitäten noch weitere Angaben nötig:

Inhalt und Besonderheiten

Arbeitsstunden je Arbeitstag

Die zu erwartenden bzw. anzunehmenden Arbeitsstunden je Arbeitstag AT liefern den Rahmen, innerhalb dessen die Aktivitäten ausgeführt werden, d. h. welche Zeit je AT für die Tätigkeitsausführung einzusetzen ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass hierfür nur die aktive Phase (ohne Pausen) zählt. Diese als Manntag MT bezeichnete Einheit bedeutet jedoch nicht, dass nur 1 Mitarbeiter alle Stunden eines MT ausfüllen muss: die Rechengröße MT umfasst vielmehr lediglich die zu erbringenden Tätigkeitsstunden eines Arbeitstages; dies können durchaus, z. B. bei Teilzeiteinsatz wegen Nebentätigkeit von Mitarbeitern, mehrere Personen sein.

Wöchentliche Betriebszeit

Über die Anzahl AT je Woche liegen keine historischen Werte vor. Es erscheint jedoch angesichts der insgesamt während eines Jahres ohnehin begrenzten Einsatzfähigkeit der Anlage (während weniger Monate im Jahr; siehe nachfolgenden Abschnitt) und der möglichen Trennung von Einsatz der einzelnen Personen und den AT einer Anlage sinnvoll, eine tägliche Nutzung der Kapazitäten anzunehmen.

Qualifikation der eingesetzten Mitarbeiter

Die Qualifikation der benötigten Mitarbeiter ist, wie in den o. g. Beschreibungen der einzelnen Aktivitäten deutlich wird, sehr unterschiedlich; besonders qualitätsrelevant für die Produkte sind die Former – wegen der Erfahrungen beim Aufbereiten des passenden Rohmaterials – und die Brenner – wegen der Gestaltung und Steuerung des Brennvorganges. Ohne dieses Know-how ist eine Ziegelei nicht zu betreiben. Auf ein weiteres Aufteilen in „skilled“ und „unskilled“ Mannstunden, wie sie von DeLaine 1992 und in späteren Publikationen immer wieder vorgenommen wird, soll hier verzichtet werden. Dazu fehlen geeignete Begriffe, Definitionen und Abgrenzungen zu den Arbeiten und den technischen Qualifikationen der Arbeiter.¹⁷⁴

¹⁷⁴ Die dabei herangezogenen Angaben im Preisedikt von Diokletian (z. B. Graser 1959, 389) erscheinen hierfür nicht geeignet: auch dort fehlen die inhaltlichen Abgrenzungen. Es werden lediglich unterschiedliche Lohn-, d. h. Entgeltklassen genannt, zu denen die für eine Trennung nach Inhalten nötigen spezifischen Qualifikationsmerkmale nicht genannt sind.

Dauer der jährlichen Ziegelsaison

Das Herstellen von Ziegeln in den NW-Provinzen ist witterungsabhängig und kann somit nur als Saisonbetrieb erfolgen. Die Monate mit niedrigen Temperaturen behindern das Trocknen nach dem Formen und bieten für den Umgang mit nassem Material unter Umgebungsklima äußerst schlechte Arbeitsbedingungen.

Anzahl möglicher Chargen

Auch bei der Anzahl möglicher Chargen je Saison wird hier von einer maximalen Auslastung der Anlage ausgegangen: So wird unterstellt, dass nach Abkühlen und Leeren eines Ofens dieser direkt innerhalb eines Tages instandgesetzt wird und am Tag danach wieder für den neuen Brand befüllt wird. Historische Angaben und Informationen aus Experimenten liegen hierzu nicht vor. Grobe pauschale Abschläge zur Saisonkapazität erscheinen ebenfalls denkbar; darauf soll jedoch aus dem oben genannten Grunde verzichtet werden.¹⁷⁵

Anzahl benötigter Formplätze

Die Vollauslastung wird auch bei den Arbeitsplätzen der Former angenommen: jeder Formplatz bietet je MT 10 h für das Formen an. Auf dieser Basis wird für den Einzelfall die Anzahl benötigter Formplätze einer Ziegelei ermittelt.

Fazit

Bei den Berechnungen wird Vollauslastung der Ofenkapazität unterstellt. Für den Einsatz von Teilkapazitäten liegen keine historischen und betriebstechnischen Erkenntnisse vor, die eine Einschränkung erfordern würden. Da jedoch sicherlich nicht jede Anlage ständig gefahren werden konnte, empfiehlt es sich, nach Ermittlung der Maximaldaten, auch Betrachtungen zu den Verhältnissen bei Teilauslastung anzustellen, z. B. durch Annahme einer prozentualen Reduzierung für große Instandsetzungsmaßnahmen und mögliche Ausfälle

Wertstellungen

Arbeitsstunden je Arbeitstag (AT) an 1 Arbeitsplatz

Betriebszeit: 12 h (brutto einschl. Pausen)

Annahme: 10 h je AT je Arbeitsplatz (netto) = 1 Manntag (MT)

Ausnahme: Arbeiten im Winter 8 h (netto) je AT = 1 MT_w¹⁷⁶

¹⁷⁵ Auch Angaben zu Produktqualitäten, Ausschussraten, Fehlbränden und Lebensdauern von Öfen – weitere Größen, die die Produktionsleistung von Ziegeleien beeinflussen – liegen nicht vor, bzw. bedürfen weiterer Studien und bleiben demzufolge hier unberücksichtigt.

¹⁷⁶ mit geringerer Dauer von durchschnittlich 10 h Tageslicht für die relevanten Monate; siehe hierzu auch die Betrachtungen im Anhang; die Markierung „w“ hebt die Unterschiede zu der ansonsten verwendeten Einheit MT heraus.

Betriebszeit der Anlage

7 Tage je Woche¹⁷⁷

*Anzahl benötigter Mitarbeiter*¹⁷⁸

Die Anzahl benötigter Mitarbeiter ist abhängig von deren jeweiliger Arbeitszeit je AT; bei 6 AT mit 10 h je Mitarbeiter je Woche¹⁷⁹ beträgt die Anzahl Mitarbeiter das 1,17-fache der in einer Woche zu leistenden MT.¹⁸⁰

Produktionszeiten je Jahr

Saison

Produktionsbeginn = Beginn der Formerarbeiten:

Mitte April = 15.4. = Beginn 16. KW = 105. Tag des Jahres

Produktionsende = Ende Leerräumen letzter Brand:

Ende September = 30.09. = Ende 39. KW = 273. Tag des Jahres

- Anzahl verfügbarer Wochen: 24
- Anzahl verfügbarer AT: 168

maximale Produktionsleistung je Saison

Anzahl der in einer Saison möglichen Brände × maximale Menge je Charge

Anzahl mindestens benötigter, gleichzeitig nutzbarer Formplätze

Die Dauer der Belegung des Ofens mit einer Charge gibt den Zeitraum vor, in dem die Stücke für die nächste Charge geformt werden müssen, damit eine kontinuierliche Produktion möglich wird¹⁸¹.

Die Anzahl benötigter Formplätze ergibt sich aus der Zeit für das Formen der Rohlinge der Charge (spezifische Zeit je Rohling × Anzahl Rohlinge einer Charge¹⁸²) dividiert

¹⁷⁷ Bukowiecki Wulf-Rheidt 2016b, 48 verwenden bei den Berechnungen für den Baustellenbetrieb in Rom während der Produktionsphase ebenfalls durchgängigen Betrieb ohne Pausentage.

¹⁷⁸ Auf die Berücksichtigung von Fehlzeiten wird hierbei verzichtet.

¹⁷⁹ netto ohne Pausen.

¹⁸⁰ Bei Teilzeitarbeit, z. B. bei Einsatz unterschiedlicher Mitarbeitergruppen, erhöht sich logischerweise die Anzahl benötigter Personen.

¹⁸¹ Der zwischen Formen und Brennen liegende Zeitraum für das Trocknen verändert die Länge dieses Zeitraumes nicht, er verschiebt die Phase des Formens lediglich um den Trocknungszeitraum vor das Brennen.

¹⁸² Ermittelt aus dem verfügbaren Brennkammervolumen.

durch die Anzahl je Arbeitstag zur Verfügung stehenden Arbeitsstunden je Formplatz
dividiert
durch die Anzahl Tage im vorgegebenen Zeitraum

Beispiel: (Annahmen)

10 Tage stehen für das Formen zur Verfügung (Dauer eines Brandes während der die
Ziegel für den nächsten Brand zu formen sind)

mit je 10 h

Benötigte Formzeit je Stück: 15 min/Stück,

Stück je Charge: 1.000:

Berechnung:

$(15 \times 1.000) / 60 = 250 \text{ h} = 25 \text{ MT Formerarbeit}$, die in 10 Tagen abzuwickeln ist.

Dazu sind 2,5 (rechnerisch) bzw. 3 (real) Formplätze nötig

11 Rekonstruktion Betriebsmodelle

Auf der Basis der Prozessdaten für das Ziegelbrennen, die Brennmaterialgewinnung und die Transporte wurden aus den vorliegenden Befunden Ziegeleistanorte für das Beschreiben möglicher Betriebsmodelle ausgewählt. Dabei bot sich für die erste Erprobung die Dormagener Ziegelei an: hier liegen sowohl Informationen zu Brennöfen, Hallen für das Formen und Trocknen als auch Daten zu den an diesem Standort gefertigten Produkten vor. Außerdem sind Bauten bzw. Orte bekannt, an denen Ziegel aus der Dormagener Herstellung eingesetzt worden sind. Das Dormagener Betriebsmodell konnte danach als Grundlage für Modelle anderer Standorte verwendet werden. Selbst eine Übertragung auf italische Produktionen für kaiserzeitliche Bauten in Rom war möglich.

11.1 Fallstudie Dormagen

11.1.1 Befund¹⁸³

Die römische Militärziegelei in Dormagen befindet sich südlich des *vicus* von *Durnomagus* in unmittelbarer Rheinnähe.¹⁸⁴ Die Grabungen erfolgten 1963–1977 und 1991. Als Betreiber wird die *legio I* genannt. Ein Beginn der Aktivitäten ist aus dem Befund nicht zu erkennen; „Das keramische Material umspannt das 2. Drittel des 1. Jahrhunderts n. Chr., wobei der zeitliche Rahmen für die Haupttätigkeit der Ziegelei gegeben sein dürfte.“¹⁸⁵ „Das Ende der Ziegelei ist mit dem Ende der Legion gleichzusetzen. Vermutlich wurde der Ziegeleibetrieb spätestens mit den Wirren des Bataveraufstandes eingestellt.“¹⁸⁶

Hervorzuheben sind die baulichen Befunde¹⁸⁷, wie die Öfen,¹⁸⁸ der als Trockenschuppen angesprochene Grundriss (Abmessungen: 10,5 × min. 39 m = min. 410 m²)¹⁸⁹ sowie

¹⁸³ Die Berichte hierzu wurden von Müller 1979 und Gechter 1993 vorgelegt; außerdem wurden 2006 im Freilichtmuseum Lage des LWL basierend auf den Daten der Dormagener Brennöfen ein Ofen nachgebaut und Ziegelbrennversuche durchgeführt.

¹⁸⁴ Koordinaten: N 51,08; O 6,83.

¹⁸⁵ Müller 1979a, 13.

¹⁸⁶ Müller 1979a, 14.

¹⁸⁷ Sie werden hier in den jeweiligen Kapiteln detailliert angesprochen und bearbeitet.

¹⁸⁸ Gechter 1993, 66 spricht von mindestens 6 Öfen auf dem Gelände; davon werden von Müller 1979a, 5 und 9/10 nur zu 2 Öfen die Abmessungen der Brennkammerfläche angegeben und insgesamt 4 Öfen als sicher nachgewiesen bezeichnet.

¹⁸⁹ siehe Abb. 19.

die gefertigten Ziegel mit ihren jeweiligen Formaten. Auch für Berechnungen zu Transporten liegen Angaben vor: So liegt der *vicus* von *Durnomagus* ca. 500–1.000 m nördlich der Ziegelei; Fundorte für die Verwendung von in Dormagen produzierten Ziegel sind in Haltern¹⁹⁰ und Bonn¹⁹¹ bekannt. Über Funde von verkohltem Holz, das Rückschlüsse auf das Brennen und auf die Herkunft des Brennmaterials erlauben würde, wird nicht berichtet.

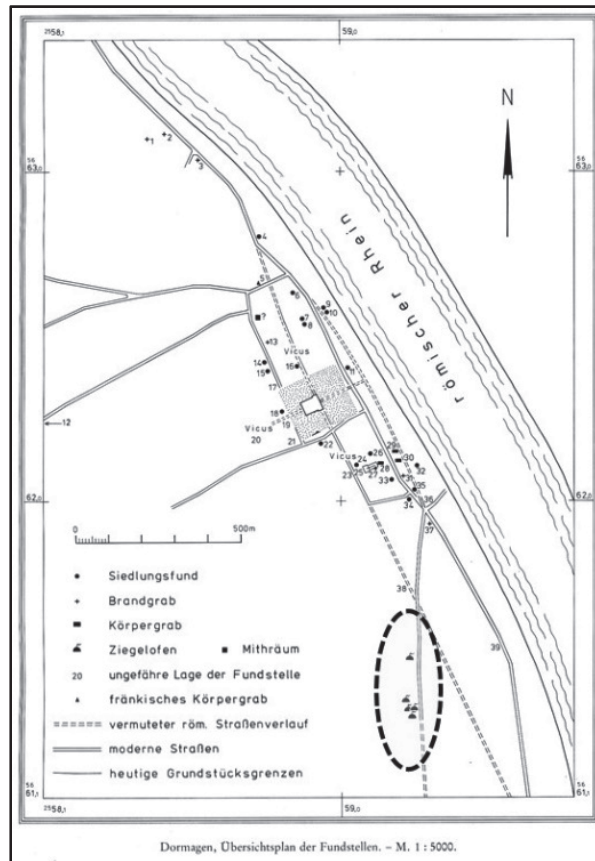


Abbildung 18 Dormagen, Übersicht der Fundstellen (Ziegeleibereich markiert) (Müller 1979a)

¹⁹⁰ Müller 1979a, 13.

¹⁹¹ Schmitz 2004, 233 Demnach wurden die Ziegel dort beim Ausbau des Bonner Lagers in Stein verwendet.

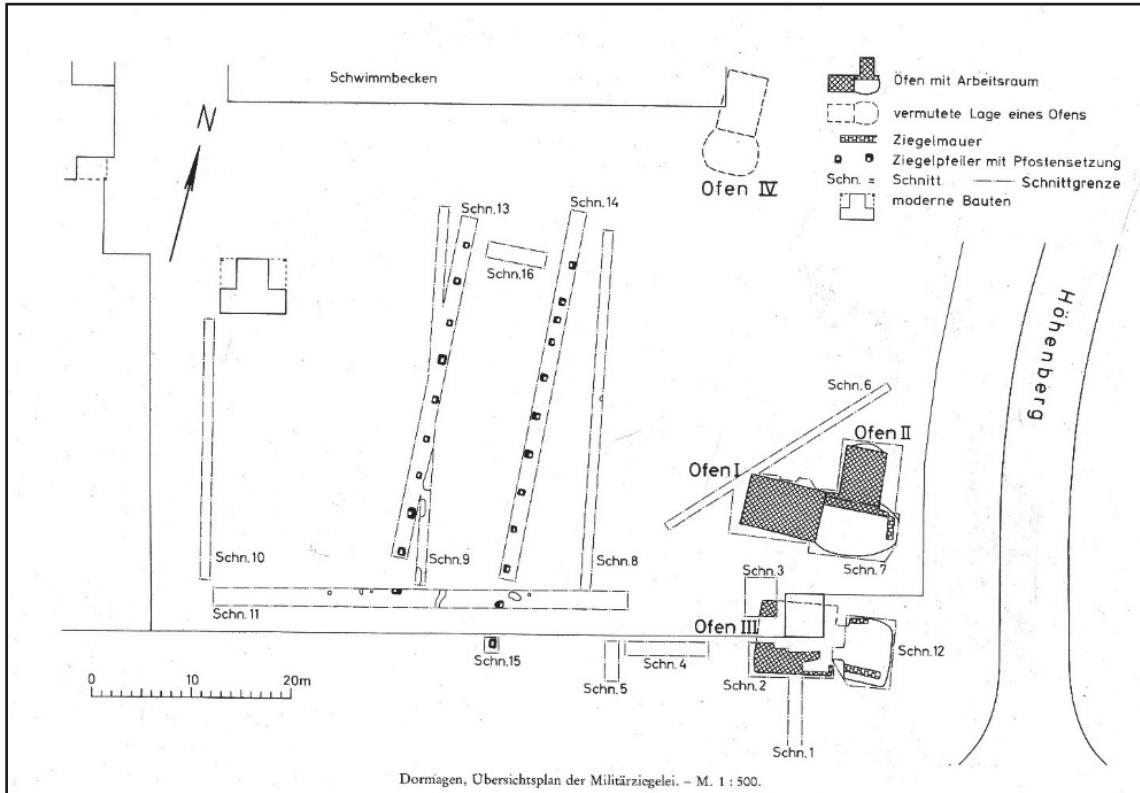


Abbildung 19 Übersichtsplan der Militärziegelei (Müller 1979a)

11.1.2 Brennöfen

Für die Brennöfen I und II (beide sind vom Typ IIb)¹⁹² können die für das Ermitteln des Brennraumvolumens benötigten Brennraumflächen aus Abb. 20 entnommen werden:

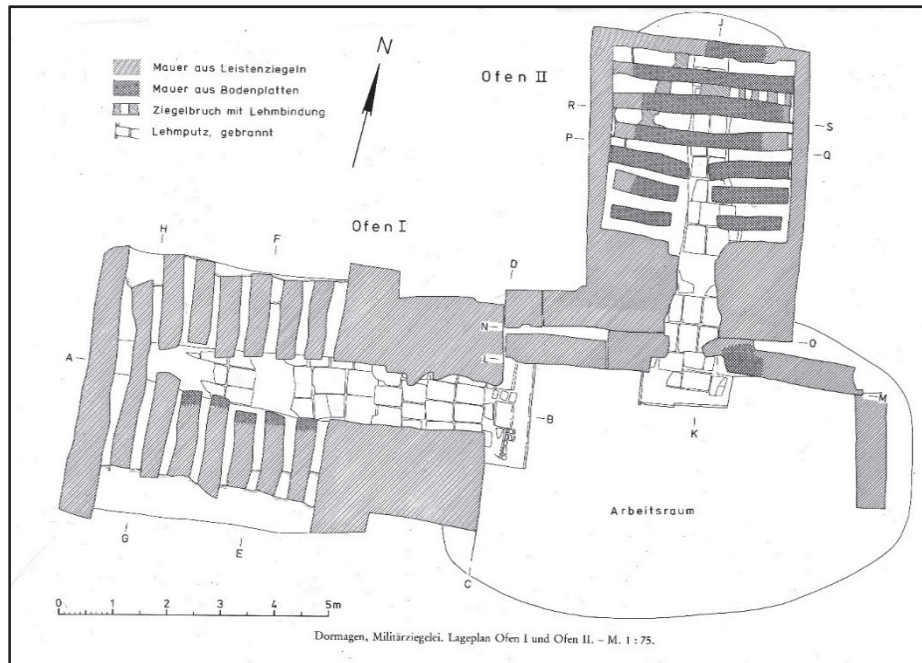


Abbildung 20 Dormagen, Militärziegelei. Lageplan Ofen I und Ofen II (Müller 1979a)

Ofen I: $3,2 \times 4,1$ m – Ofen II: $3,6 \times 4,1$ m

Damit ergeben sich bei einer angenommenen Brennraumhöhe von 2 m die Volumina zu:

Ofen I: $3,2 \times 4,1 \times 2 = 26 \text{ m}^3$ – Ofen II: $3,6 \times 4,1 \times 2 = 30 \text{ m}^3$

Die beiden Öfen sind rechtwinklig zueinander angeordnet und werden aus einem gemeinsamen „Arbeitsraum“ bedient. Inwieweit diese Anordnung auf ein paralleles bzw. zeitlich versetztes oder auf ein gänzlich unabhängiges Betreiben der Öfen schließen lässt, kann von den Ausgräbern aus den Befunden nicht abgeleitet werden.

¹⁹² nach der Typisierung von Cuomo di Caprio.

Folglich bieten sich für das Herleiten des Betriebsmodells verschiedene Varianten an:

- **Betrieb eines einzigen Ofens**
Hier werden die theoretische Maximalkapazität eines Ofens und die für eine Charge benötigten Ressourcen, wie Personal und Material, die von „kalt bis -kalt“¹⁹³ benötigte Zeit etc. ermittelt.
Als Idealvorstellung wird bei der Betrachtung der Saisonleistung eines Ofens von einem Betrieb ausgegangen, bei dem eine Charge unmittelbar auf die andere folgen kann; der Ofen wird dabei sofort nach dem Erkalten und Ausräumen wieder mit neuen Rohlingen bestückt und gefahren.
Für die notwendigen Instandhaltungsarbeiten wird zusätzlich zur Belegungszeit eines Ofens durch einen Brand ein weiterer Tag eingesetzt.¹⁹⁴

- **Betrieb der beiden Öfen im wechselnden Takt: „kalt bis kalt“ Ofen I – „kalt bis kalt“ Ofen II – „kalt bis kalt“ Ofen I usw.**
In diesem Falle könnte unterstellt werden, dass Instandhaltungsarbeiten an einem Ofen während des Betriebes des anderen Ofens erfolgen. Damit wäre ein gesicherter kontinuierlicher Betrieb der Anlage in der Saison möglich; eventuell sogar unter Wegfall des Tages für Instandhaltungsarbeiten mit einer Charge mehr.
Für diesen Fall könnte die Anlage mit der Maximalkapazität eines Ofens für die gesamte Saison veranschlagt werden.¹⁹⁵

- **Betrieb der Öfen mit zeitlich überlappenden Aktivitäten (beispielsweise Befüllen eines Ofens während der Brennphase des anderen Ofens).**
Diese Betriebsvariante ist wegen der Enge im gemeinsamen Arbeitsraum auszuschließen.

¹⁹³ „kalt bis kalt“: Bestückter Ofen vor dem Brand bis abgekühlter Ofen nach dem Brand.

¹⁹⁴ Annahme.

¹⁹⁵ Dabei soll hier zunächst unberücksichtigt bleiben, dass Ofen II ein ca. 10 % größeres Brennraumvolumen hat als Ofen I.

11.1.3 Produkte

In der Ziegelei Dormagen wurden die nachfolgend aufgeführten Ziegeltypen hergestellt:¹⁹⁶

Ziegeltyp	Länge cm	Breite cm	Stärke cm	Leistenhöhe cm	Fläche m ²	Volumen* l	Gewicht* kg
<i>tegulae</i> (Leistenziegel)	53	36,8	3		0,20	5,9	11,7
	52,3	35,7	2,7	6,2	0,19	5,0	10,1
	49,2	34,6	3,1	5,1	0,17	5,3	10,6
	48,8	33,8	2,9	4,1	0,16	4,8	9,6
<i>imbrices</i> (Deckziegel, gebogen)**	47,8	15	2,1		0,07	1,5	3,0
	39,9	15	1,8		0,06	1,1	2,2
quadratische <i>lateres</i>	55,8	55,8	7,2		0,31	22,4	44,8
	57,1	57,1	8,7		0,33	28,4	56,7
langeckige <i>lateres</i> ¹⁹⁷	55,6	55,6	7,3		0,31	22,6	45,1
	40,4	28,5	4,4		0,12	5,1	10,1
	39,8	28,7	5		0,11	5,7	11,4
	39	28,2	4,2		0,11	4,6	9,2
	37,7	27,8	5,1		0,10	5,3	10,7
	38	30,5	6,6		0,12	7,6	15,3
Wandziegel	35,8	35,8	3,7		0,13	4,7	9,5
Mauerziegel 1 nach DIN***	24	11,5	7,1		0,03	2,0	3,9
Mauerziegel 2 mit halber Dicke***	24	11,5	3,5		0,03	1,0	1,9

Tabelle 5 Ausgewähltes Produktionsprogramm

Für eine Vereinfachung der Betrachtungen wurde das Produktionsprogramm auf die Möglichkeit zur Auswahl repräsentativer Abmessungen je Ziegeltyp analysiert: (siehe nachfolgende Abb. 21). Dabei zeigte es sich, dass die in den grau hinterlegten Feldern der Tabelle aufgeführten Typen für jeden Ziegeltyp als Standard ausgewählt werden können;

¹⁹⁶ Müller 1979a, 11/12. Unberücksichtigt blieben Lüftungsziegel, Antefixe, *tubuli*, Webgewichte, Keramik zum Eigenbedarf, die auch im Befundbericht genannt werden. Zur Berechnung des Gewichtes wurden 2 kg je l Lehm verwendet. Legende: *Näherung: ohne Leiste; **Breite = Annahme; *** zum Vergleich.

¹⁹⁷ Mit „langeckig“ [sic] werden hier rechteckige Ziegel unterschiedlichen Kantenlänge angesprochen.

die Abweichungen zu den anderen Ausführungen gleichen Typs erscheinen vernachlässigbar.¹⁹⁸ Die Gewichte je Ziegel (bei 2 kg je l) enthält Abb. 21:¹⁹⁹

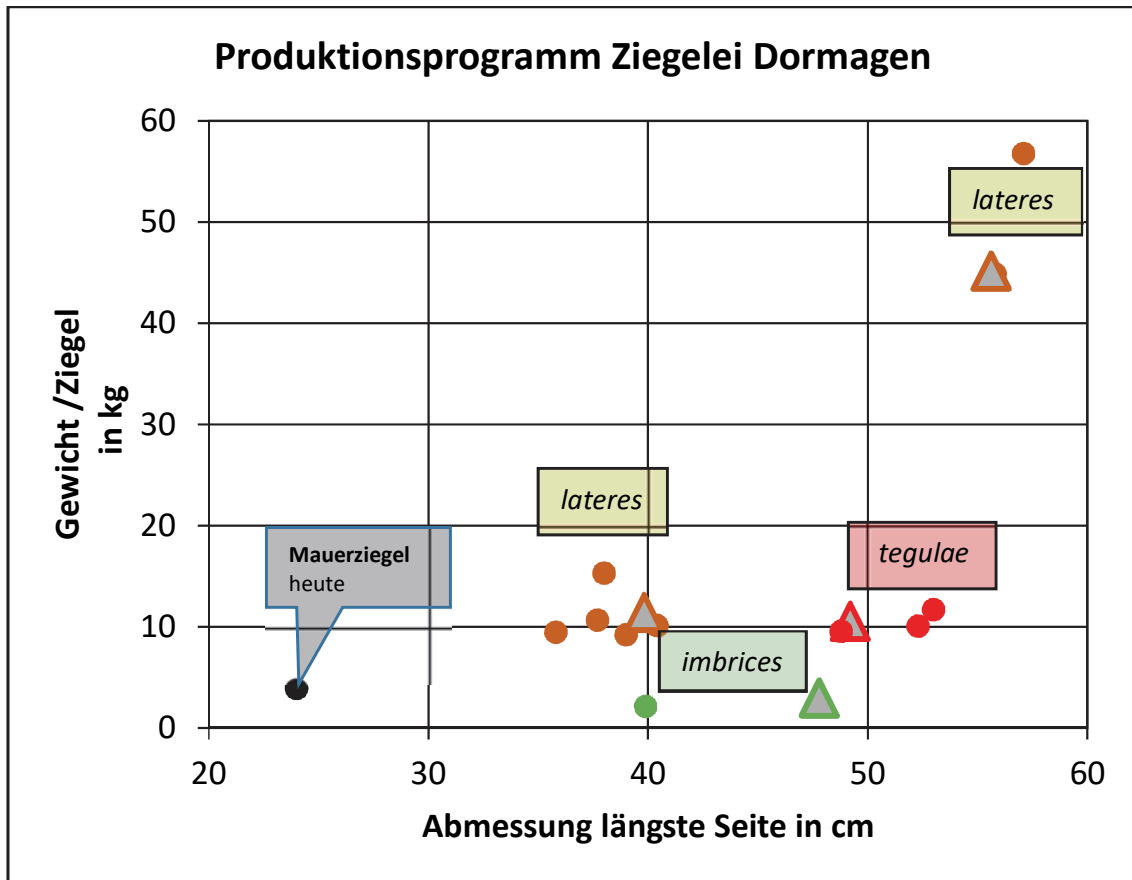


Abbildung 21 Produktionsprogramm Ziegelei Dormagen – Auswertung der Befunde

11.1.4 Mögliche Chargengrößen

Bei der Bemessung der maximalen Befüllung der Öfen wurde der Füllgrad mit 50% veranschlagt. Außerdem wurden, bis auf das Brennen von gemischten *tegulae-imbrices*-Chargen im Verhältnis 1:1, „typenreine“ Befüllungen angenommen. Kombinationen verschiedener Typen bei einem Brand waren vermutlich üblich. Ein Betrachten solcher Art Brände wird zur Vermeidung zusätzlicher Komplexität zunächst nicht angestellt.

Unter diesen Prämissen ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 6 aufgeführten Chargengrößen für die beiden Öfen. Zusätzlich ist aufgeführt, welche Dach-, Boden- oder Mauerflächen die Ziegel einer Charge bedecken würden. Außerdem sind die Füllzeiten in Mh und AT je Charge aufgeführt, die sich aus 15 sec Dauer dieser Tätigkeit und

¹⁹⁸ Als Vergleichsmaß sind auch moderne Mauerziegel nach DIN aufgeführt.

¹⁹⁹ Die ausgewählten Ziegel aus Tabelle 5 sind als Dreiecke mit grauer Füllfläche markiert.

30 Msec (bei parallelem Einsatz von 2 Mitarbeitern) je Rohling ergeben; beispielsweise 21 Mh bzw 1 AT für das Füllen von Ofen I mit *tegulae*. Die 21 Mh werden dabei von 2 Mitarbeitern, die gemeinsam und parallel tätig sind, in 10,5 h (gerundet: 10 h = 1 AT) erbracht.

	Füllmenge Ofen I		Füllmenge Ofen II		Füllzeit Mh		Füllzeit Dauer AT	
	Anzahl	m ² Dach	Anzahl	m ² Dach	Ofen I	Ofen II	Ofen I	Ofen II
<i>tegulae</i>	2.463	419	2.842	484	21	24	1,0	1,2
<i>imbrices</i>	8.634		9.962		72	83	3,6	4,2
<i>tegulae</i> + <i>imbrices</i>	1.917	326	2.211	376	32	37	1,6	1,8
		Fläche m ²		Fläche m ²				
quadratische <i>lateres</i>	576	178	665	205	5	6	0,2	0,3
langeckige <i>lateres</i>	2.566	295	2.961	341	21	25	1,1	1,2
Wandziegel	2.741	351	3.163	405	23	26	1,1	1,3
		m ² Wand mit 0,5 cm Mörtel je Lage		m ² Wand mit 0,5 cm Mörtel je Lage				
Mauerziegel 1 DIN	6.634	122	7.655	141	55	64	2,8	3,2
Mauerziegel 2	13.458	132	15.528	152	112	129	5,6	6,5

Tabelle 6 Füllmengen und Fülldauern der Öfen I und II in Dormagen

In Ofen I (Ofen II) kann demnach eine Charge
 326 m² (376 m²) Dachbedeckung,²⁰⁰
 178 m² (205 m²) Bodenbelag mit quadratischen *lateres* bzw.
 295 m² (341 m²) mit langeckigen *lateres* oder
 351 m² (405 m²) Wandverkleidung liefern.

²⁰⁰ Die Werte für reine *tegulae*- und *imbrices*-Chargen werden hierbei (und in den nachfolgenden Kapiteln) vernachlässigt, da angenommen wird, dass *tegulae* und *imbrices* immer als Paar geliefert und auch hergestellt wurden.

11.1.5 Zeitbedarf für das Formen je Charge

Der für eine Charge benötigte Zeitaufwand für das Formen ergibt sich mit den o. g. Basiswerten zu 10,7 – 16,6 MT:²⁰¹

	Mmin/Stück	Stücke/MT	MT Ofen I	MT Ofen II
<i>tegulae</i>	3	200	12,3	14,2
<i>imbrices</i>	1,5	400	21,6	24,9
<i>tegulae + imbrices</i>	4,5	133	14,4	16,6
quadratische <i>lateres</i>	15	40	14,4	16,6
langeckige <i>lateres</i>	2,5	240	10,7	12,3
Wandziegel	2,5	240	11,4	13,2
Mauerziegel 1	1	600	11,1	12,8
Mauerziegel 2	1	600	22,4	25,9

Tabelle 7 Zeitbedarf für das Formen je Charge

²⁰¹ *tegulae + imbrices* = Paar.

11.1.6 Dauer eines Brandes

Die Dauer eines Brandes wurde ebenfalls mit den o. g. Basiswerten errechnet. Neben dem Zeitbedarf für das Brennen einer Charge sind in der Tabelle 8 auch die Zeiten für das Füllen, das Abkühlen sowie das Leeren des Ofens aufgeführt:
Zeitbedarf je Charge (kein Personalbedarf)

	Füllzeit Dauer		Brennen Dauer		Abkühlen Tage		Leeren Dauer		Summe Tage	
	AT		Tage 24 h		24 h		AT		Brennen	
	Ofen I	Ofen II	Ofen I	Ofen II	Ofen I	Ofen II	Ofen I	Ofen II	Ofen I	Ofen II
<i>tegulae</i>	1,0	1,2	3,3	3,8	3,3	3,8	0,3	0,4	7,9	9,1
<i>imbrices</i>	3,6	4,2	3,3	3,8	3,3	3,8	1,2	1,4	11,3	13,0
<i>tegulae + imbrices</i>	1,6	1,8	3,3	3,8	3,3	3,8	0,6	0,1	8,7	9,4
quadratische lateres	0,2	0,3	3,3	3,8	3,3	3,8	0,1	0,1	6,8	7,9
langeckige lateres	1,1	1,2	3,3	3,8	3,3	3,8	0,4	0,4	7,9	9,1
Wandziegel	1,1	1,3	3,3	3,8	3,3	3,8	0,4	0,4	8,0	9,3
Mauerziegel 1	2,8	3,2	3,3	3,8	3,3	3,8	0,9	1,1	10,2	11,8
Mauerziegel 2	5,6	6,5	3,3	3,8	3,3	3,8	1,9	2,2	14,0	16,1

Tabelle 8 Zeitbedarf je Ofen und Charge

Ein durchschnittlicher Wert von 9 Tagen Brenndauer („kalt – kalt“) scheint für eine erste Berechnung sinnvoll zu sein – dazu wird ca. 1 Tag für Instandhaltungsarbeiten am Ofen zugeschlagen.²⁰²

²⁰² Dieser wird nicht zwangsläufig nach jedem Brand in vollem Umfang anfallen; er ist als Mittelwert für kleinere und größere Maßnahmen während einer Ziegelsaison gedacht.

11.1.7 Anzahl benötigter Formplätze

Für das Formen der Rohlinge stehen bei kontinuierlicher Produktion somit 10 Tage zur Verfügung. Die Anzahl mindestens benötigter Formplätze für eine Charge ergibt sich daraus zu:

	MT Formen		Anz Formplätze	
	Ofen I	Ofen II	Ofen I	Ofen II
<i>tegulae</i>	12	14	1,2	1,4
<i>imbrices</i>	22	25	2,2	2,5
<i>tegulae + imbrices</i>	14	17	1,4	1,7
quadratische <i>lateres</i>	14	17	1,4	1,7
langeckige <i>lateres</i>	11	12	1,1	1,2
Wandziegel	11	13	1,1	1,3
Mauerziegel 1	11	13	1,1	1,3
Mauerziegel 2	22	26	2,2	2,6

Tabelle 9 Anzahl mindestens benötigter Formplätze je Ofen

Demnach sind für das Formen einer Charge in 10 Tagen 2 Formplätze nötig. Lediglich eine Charge, die ausschließlich *imbrices* enthält, erforderte theoretisch einen weiteren Formplatz, um in 10 Tagen die benötigte Menge vorzubereiten. Dies ließe sich jedoch dadurch umgehen, dass *imbrices* im Voraus an den Tagen geformt werden, an denen in der Formerei ein anderes Typenprogramm läuft, bei dem freie Formerkapazitäten an den beiden Formplätzen verfügbar sind.

11.1.8 Lagerfläche für die Trocknung

Aus Tabelle 8 Füllmengen und Fülldauern der Öfen I und II in Dormagen ist herleitbar, dass für das Trocknen der Rohlinge für eine Charge eine Fläche von ca. 400 m² zum horizontalen Auslegen benötigt wird – und evtl. eine zusätzliche Fläche für Wege. Bei einer Gesamttrockenzeit von 28 Tagen je Rohling und unter der Annahme, dass diese nach spätestens 10 Tagen aufgerichtet getrocknet werden, können diese 400 m² ausreichend sein. Lediglich für die stehend zu trocknenden wäre zusätzlicher Platz einzuplanen. Dieser wäre jedoch erheblich geringer als für das Trocknen im Liegen. Die im Befund beschriebene Halle könnte demnach mit mindestens 410 m² Grundfläche die für die Dormagener Ziegelei ausreichend große Halle sein. Auf den Einbau materialintensiver tragfähiger Zwischenböden könnte so verzichtet werden. Lediglich für die angetrockneten Rohlinge wäre zusätzlich Lagerplatz einzurichten. Auch die Anordnung der Halle in die

Nähe der Wärme abgebenden Öfen könnte ein Argument für deren Verwendung als Trocknungsplatz sein.²⁰³

11.1.9 Ablauf und Personalbedarf

Die Ziegelsaison der Dormagener Ziegelei beginnt im Frühjahr eines Jahres mit den Formarbeiten bzw. mit den vorgelagerten Lehmaufbereitungen und endet Ende September. Für diesen Zeitraum wird ein kontinuierliches Arbeiten angenommen, bei dem eine Charge direkt nach Ende der vorigen gefahren wird. Die Anzahl der benötigten Mitarbeiter wird nach den o. g. Parametern berechnet.

Ablauf (beispielhaft für Ofen I)

		Beginn
Formarbeiten	10 Tage	15.4.
Trocknen	28 Tage	25.4.
1. Brand	10 Tage	23.5.
Summe	48 Tage	
1. mögliche Auslieferung		ab 2.6. (= 153. Tag des Jahres)

Bei Saisonende am 273. Tag sind dann noch 120 Tage verfügbar; d. h. bei 10 Tage je Brand sind theoretisch 12 weitere Brände (= insgesamt 13 Chargen) möglich. Bei einem Füllgrad von 50 % und regelmäßiger Vollauslastung des Ofens würden so je Saison $13 \times 13 \text{ m}^3 = 169 \text{ m}^3$ Lehm verarbeitet werden können.

Personalbedarf

Lehmabbau (außerhalb der Ziegelei)

Der Abbau von Lehm erfolgt vermutlich im Vorjahr, damit vor der Verwendung zum Formen eine Bewitterung möglich ist. Bei $5 \text{ m}^3/\text{MT}$ ($4 \text{ m}^3/\text{MTw}$) für den Abbau und je 1 MT Zuschlag für die Aufbereitung ergeben sich $2,5 \text{ m}^3$ je MT ($2 \text{ m}^3/\text{MTw}$). Für 169 m^3 Lehm je Saison fallen damit ca. 68 MT (85 MTw) an. Bei einem Beginn dieser Arbeiten nach Ende der vorigen Brennsaison Anfang Oktober wäre diese Arbeit – falls sie Ende November (60 Tage später) rechtzeitig vor den für das Bewittern so wichtigen Bodenfrösten – beendet sein soll, von 2 Mitarbeitern in 34 (42) Arbeitstagen zu erledigen.

²⁰³ Auswertung zu Hallen von Ziegeleien siehe Kap. 13.2.4

Sollte es jedoch möglich sein, unbewitterten Flusslehm (Auenlehm) einzusetzen, könnten diese Arbeiten auch vor und während der Formarbeiten erledigt werden und der Personalbedarf fiele während der Saison an.²⁰⁴

In der Ziegelei (je Charge)

Lehmaufbereitung

Zeitraum: vor/parallel zur Verarbeitung (dem Formen)

zusätzlich 1 MT/AT je MT Former

Ziegel formen

2 Formplätze mit 1,25 MT/AT²⁰⁵

Rohlinge abtransportieren

Diese Funktion erfüllt ein Abträger, der dem Former direkt zugeordnet ist – und der auch die Betreuung (das Beobachten, Schützen und Wenden) der zu trocknenden Rohlinge übernehmen kann; **1 MT/AT je MT Former**

Ziegel trocknen

1 MT/AT je MT Former

Ofen füllen

2 Mitarbeiter werden benötigt – zum Anreichen und Setzen der Rohlinge – während 1 AT: 2 MT/AT

Außerdem werden weitere 4 MT für den Antransport der Rohlinge an den Ofen bei dieser in ca. 1 Tag abzuwickelnden Funktion benötigt²⁰⁶.

Diese Arbeiten sollen hier als vom Personal für das Brennen ausgeführt angesetzt werden; zusätzliche MT fallen demnach nicht an.

Ziegel brennen

Dauer: 3,5 Tage mit je 24 h (verwendet: 4 AT)

Annahme: 2 MA dauernd als Brenner am Ofen: 2 × 24 Mh/AT; **5 MT/AT**

Ofen abkühlen

1 Mitarbeiter für die Überwachung des Ofens über 4 Tage; **2,5 MT/AT**

²⁰⁴ Nachfolgend wird als Annahme mit bewittertem Lehm gerechnet; damit können diese Arbeiten von Mitarbeitern der Ziegelei, aber außerhalb der Brennsaison, erledigt werden. Inwieweit der Lehm in Dornmagen – vermutlich als Flusslehm anzusehen – eine Bewitterung erfordert, ist ein materialtechnisches Desiderat.

²⁰⁵ Mittelwert aus dem Gesamtprogramm.

²⁰⁶ Bei einem Transportweg von 50 m (eine für die lokalen Verhältnisse realistisch erscheinende Entfernung; siehe Abb. 19) und 26 t Rohlinge beträgt die Verkehrsarbeit 1,3 t*km; bei 2,7 km/h Geschwindigkeit und einer Transportleistung von 0,068 t*km/h je Mitarbeiter ist diese Arbeit (einschl. Rückwege) in 38 h zu erledigen; d. h. für eine Abwicklung in 10 h sind hierfür 4 Mitarbeiter notwendig.

Ofen leeren

1 MT nach Abkühlen des Ofens

Für den Abtransport auf das Fertigwarenlager fällt die gleiche Arbeitsmenge an wie für den Antransport (Annahme): **4 MT/AT** bei einer Dauer von 1 AT

Ziegel lagern

Für die Arbeiten im Fertigwarenlager (Konfektionieren, Qualitätskontrolle, Sortierarbeiten etc.) sind sicherlich für die vielen tausend Ziegel 5–10 Mitarbeiter zu veranschlagen; exakte Berechnungen können hier mangels Kenntnis der Arbeitsabläufe nicht angestellt werden. Wie oben angegeben, wird als erste Schätzung **1 MT/AT je MT Former** gewählt.

Die so ermittelten Personalbedarfe fallen an den einzelnen Arbeitstagen auf dem Gelände der Ziegelei wie folgt an:

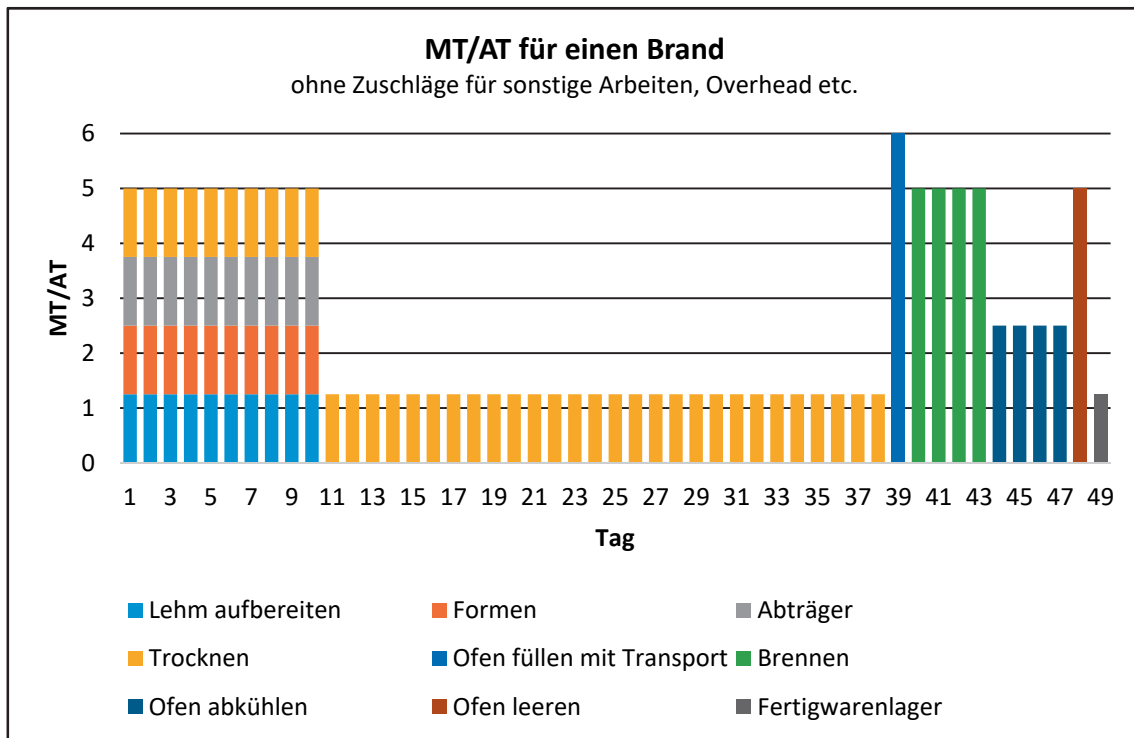


Abbildung 22 Anzahl MT je AT für den ersten Brand

Darin werden die Einsatzzeiten der einzelnen Aktivitäten beim Ablauf des Fertigungsprozesses deutlich. Auffallend ist der Abfall des Bedarfes nach 10 Tagen des Formens. Er entsteht durch das wenig personalintensive Trocknen der Rohlinge vor dem Brennen. In der betrieblichen Realität entsteht diese Lücke nicht, da dann die Formerarbeiten an der zweiten Charge beginnen.

Abb. 23 zeigt, dass nach Ende des Trocknens der erste Charge der Personalbedarf ansteigt; bis auf 11,25 MT/AT während des Brennens:²⁰⁷

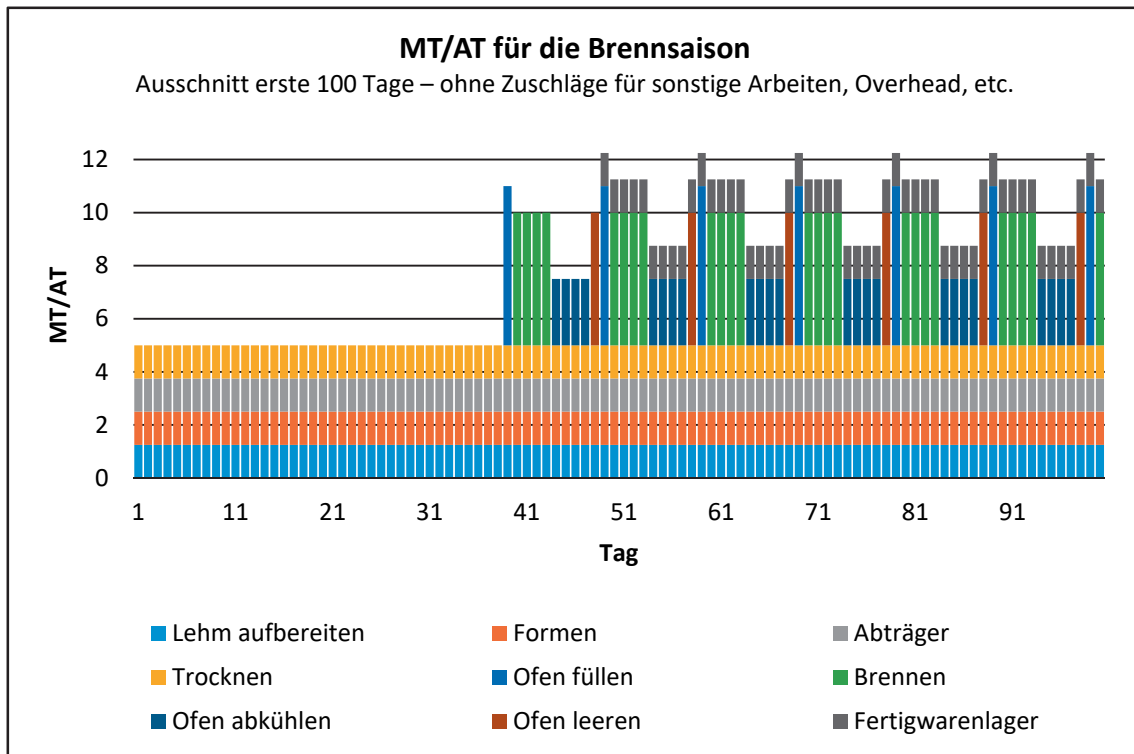


Abbildung 23 Anzahl MT je AT

Theoretischer Gesamtbedarf in der Ziegelei aus diesen Werten:

Saison: April–Ende September

kontinuierlich (gerundeter Durchschnitt)

Formen (Former + Lehmaufbereiter + Abträger)

3,75 MT/AT

Trocknen

1,25 MT/AT

Brennen (incl. Ofen füllen und leeren)

5 MT/AT

Fertigwarenlager

1,25 MT/AT

Summe

11,25 MT/AT²⁰⁸

²⁰⁷ beispielhaft dargestellt für die ersten 100 Tage; die restlichen Tage der Saison laufen nach dem gleichen Schema ab.

1,25 MT für die Arbeiten im Fertigwarenlager, die nur am Tag der Ofenbefüllung anfallen und den Bedarf auf 12,25 MT/AT erhöhen, werden dabei gegenüber dem häufigsten Wert von 11,25 MT/AT vernachlässigt.

²⁰⁸ An 4 Tagen zwischen den Bränden werden bei dieser Rechnung weniger MT benötigt. Ein funktionsfähiger Ziegeleibetrieb ist jedoch nur mit dieser Kapazität zu betreiben. Die Bedarfsspitze am Tag des Ofenbefüllens bleibt unberücksichtigt; hier ist zu unterstellen, dass die Springer tätig werden.

+ zusätzlich

Springer für Reparaturen, Handling und Zulieferung von Zuschlagstoffen, Wasser etc. 20 % ²⁰⁹	2 MT/AT
Summe	13,25 MT/AT
dazu ist noch das Aufsichtspersonal hinzuzufügen	1 MA/AT ²¹⁰
Summe gesamt	14,25 MT/AT

Damit ergibt sich für die Ziegelei ein Saisonbedarf von
 13 Chargen \times 10 AT \times 14,25 MT/AT = **1.853 MT**

Bei 6 Arbeitstagen je Woche und Person mit 10 h/Tag und einem 7 Tage-Betrieb der Ziegelei ergibt sich daraus beispielsweise ein rechnerischer Personalbedarf (Anzahl MT/AT \times 1,17) von 17 Personen. Sollten die Mitarbeiter nur halbtags tätig sein können, z. B. wegen anderer Arbeiten in einem militärischen Verband oder landwirtschaftlicher Arbeiten, würde sich der Personalbedarf auf 34 Personen verdoppeln. Ausfälle wegen Krankheit oder verringerte Verfügbarkeit der einzelnen Mitarbeiter je AT, z. B. durch andere Arbeitseinsätze im Rahmen des Militärdienstes) erhöhen die Anzahl benötigter Personen für die Ziegelei. Eine quantitative Abschätzung hierzu erscheint nicht sinnvoll, da geeignete Parameter fehlen. In diesen Berechnungen sind das Abbauen und Aufbereiten des Lehms, externe Transporte (Anlieferung Lehm und Brennmaterial, Abtransport Fertigware) sowie die Gewinnung von Brennmaterial *nicht* berücksichtigt; diese sind in separaten Kapiteln dargestellt.

11.1.10 Mögliches Jahresprogramm der Ziegelei

Bei Annahme eines kontinuierlichen Ziegeleibetriebes während der gesamten Saison ergeben sich mit den o. g. Parametern bei 13 Chargen die in Abb. 24 dargestellten maximal möglichen Mengen je Produkt; diese sind alternativ zueinander zu sehen. Sie bilden vermutlich nicht ganz die realen Zustände ab. Eine Korrektur aufgrund von vollständigen oder teilweisen Fehlbränden erscheint erforderlich. Ein Bereich von 10 – 20% Verlusten wegen Qualitätsmängeln könnte als Annäherung dienen.²¹¹ Damit könnten dann auch eventuell erfolgte Verschiebungen von Bränden gegenüber dem hier angenommenen Zeitraster abgedeckt sein – beispielsweise würde der Totalausfall eines Brandes wegen

²⁰⁹ Annahme.

²¹⁰ Annahme.

²¹¹ Aus den Versuchen beim Experiment in Lage. Diese Fehlbrände können auch als mögliche Quelle für das oftmals in Produktionsanlagen und als Baustoff in Gebäuden vorgefundene Ziegelmehl angesprochen werden. Eine Quantifizierung der Mengen ist bei diesem Material nicht möglich.

einer notwendigen Sanierung des Ofens – in einer Saison das Ergebnis alleine schon um $1/13 = 8\%$ schmälern. Da hierzu jedoch keine Erfahrungswerte vorliegen, wurde auf eine Quantifizierung dieser Effekte verzichtet.

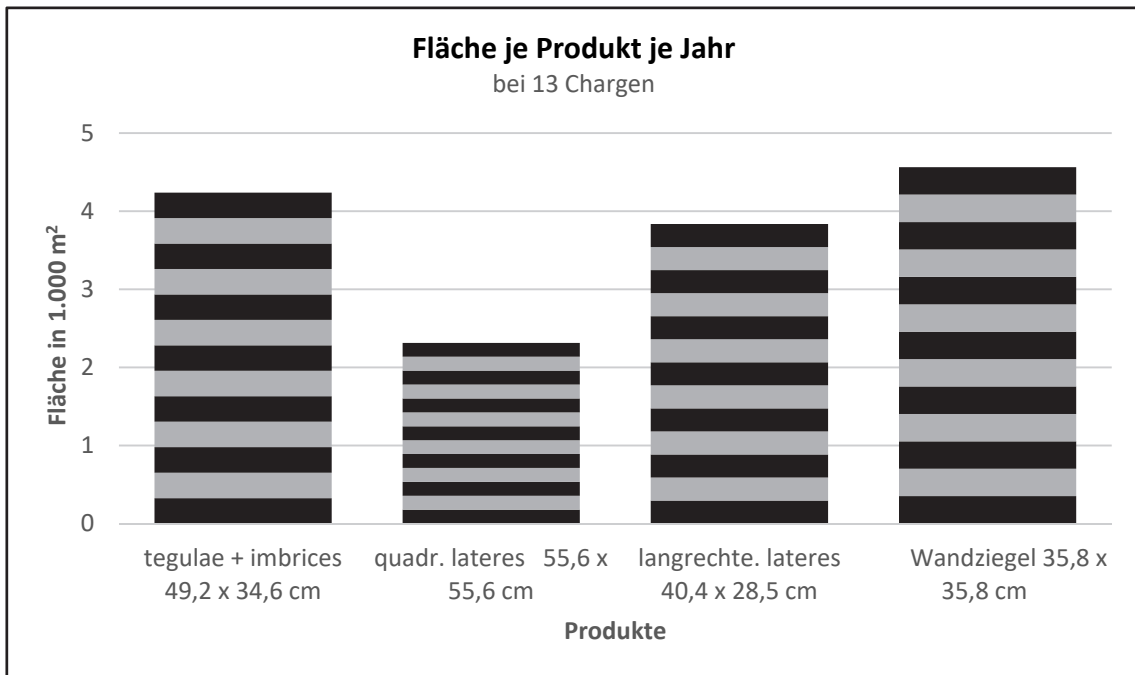


Abbildung 24 Maximalmengen je Jahr und Ziegeltyp in m² Ziegelfläche

11.1.11 Brennmaterial

Benötigte Menge

13 Brände in einem Ofen mit 26 m³ Brennkammervolumen benötigen bei 1,0 MW/m³ Brennkammervolumen je Brand jährlich $13 \times 26 \times 1,0 = 338$ MWh. Bei 4 kWh/kg für trockenes Buchenholz ergibt sich daraus ein Holzbedarf von 85 t (110 fm), aufgeteilt in 55% Derbholz (47 t – 61 fm) und 45% Reisig (38 t – 49 fm)

Ein Abgleich mit den o. g. Beständen gibt folgendes Bild:

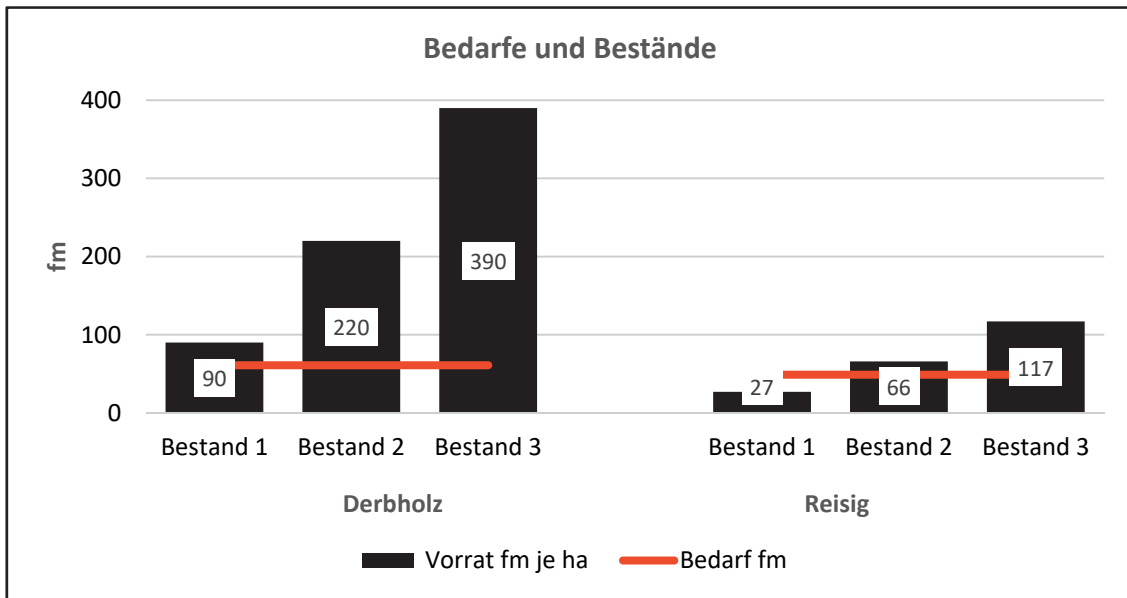


Abbildung 25 Bedarfe und Bestände an Derbholz und Reisig

Demnach wären für das Brennen aller möglichen Chargen Ziegel einer Saison bei Totalrodung abzuholzen:

Für das Derbholz aus **Bestand 1**: 0,7 ha ; aus **Bestand 2**: 0,3 ha; aus **Bestand 3**: 0,2 ha

Für das Reisig aus **Bestand 1**: 1,6 ha; aus **Bestand 2**: 0,7 ha; aus **Bestand 3**: 0,4 ha

In allen Fällen übersteigt der Bedarf an Reisig die beim Fällen von Derbholz anfallende Reisigmenge. Für die Sicherstellung des benötigten Reisigs wäre demnach auf das bei Fällungen für andere Zwecke der Holzgewinnung anfallende, aber dort nicht verwendete Reisig (z. B. beim Einschlag von Bauholz oder von Holz für Kohlenmeiler) zurückzugreifen. Alternativ wäre auch der Einsatz von Buschwerk denkbar.²¹² Damit wird deutlich, dass der Brennmaterialbedarf einer Ziegelei mit einem Ofen wie in Dormagen selbst bei einem ununterbrochenen Betrieb von 10 Jahren lediglich maximal den Bestand von 7 ha verfeuern würde (abgesehen vom Zusatzbedarf an Reisig).²¹³

²¹² Wenn das fehlende Reisig durch zusätzlichen Einschlag gewonnen werden sollte, wäre nach dieser Rechnung ca. die gleiche Fläche Wald zusätzlich einzuschlagen. Das dabei anfallende Derbholz würde dann für andere Zwecke zur Verfügung stehen. Eine Quantifizierung hierzu erscheint wegen fehlender Basisdaten nicht sinnvoll.

²¹³ Bei diesen Betrachtungen wird unterstellt, dass die Bäume ausschließlich zum Gewinnen von Derbholz für die Brennöfen geschlagen werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass die für Bauholz verwendbaren Teile der gefällten Bäume auch zum Bauen verwendet wurden – und somit eher die dafür nicht

Personalbedarf für die Brennholzgewinnung

Aus den o. g. Betrachtungen für das Fällen und Aufarbeiten von Bäumen zu Derbholz und Reisig werden 65 Mh/fm Derbholz und 23 Mh/fm Reisig benötigt. Daraus ergeben sich für den Jahresbedarf von

61 fm Derbholz: $61 \times 65 \text{ Mh/fm} = 3.965 \text{ Mh}$; d. h. ca. 400 MT oder ca. 500 MTw
und zusätzlich für
49 fm Reisig: $49 \times 23 \text{ Mh/fm} = 1.127 \text{ Mh}$; d. h. ca. 113 MT oder 141 MTw
insgesamt somit mindestens
513 MT oder 641 MTw je Saison

Falls diese Arbeit nur in den Herbst-/Wintermonaten erfolgt, stehen, unter Berücksichtigung witterungsbedingter Abzüge von beispielsweise 4 Wochen, von Ende Oktober bis Ende Februar ca. 90 Tage zur Verfügung. Dies ergibt einen Personalbedarf von mindestens 5,7 MT/AT oder 7,1 MTw/AT. Bei einer 6-Tagewoche werden dafür ca. 7 oder 8 Mitarbeiter je AT benötigt.

11.1.12 Externe Transporte

Für die Berechnung der externen Transporte werden für die Anlieferungen von Lehm und Brennmaterial (Holz) überschlägige Berechnungen angestellt; exakte Weglängen liegen hierzu nicht vor. Demzufolge sind die Ergebnisse als Orientierungsgrößen möglicher Leistungen anzusehen. Dagegen liegen für die Fundorte Haltern und Bonn die (heutigen) Entfernungen als Flusskilometer vor. Daraus können Transportzeiten für Fertigware ex-Dormagen ermittelt werden.

Anlieferung Lehm und Brennmaterial

Für die Lehmgruben der Dormagener Ziegelei liegen keine archäologischen Befunde vor; deshalb erfolgt hier eine Annäherung an mögliche Gegebenheiten durch Beispielrechnungen auf der Basis von Annahmen

verwendbaren Teile der Bäume zu Brennholz weiterverarbeitet wurden. Diese Koppelproduktion bei der Holzgewinnung ist jedoch bzgl. ihrer jeweiligen Anteile nicht allgemein quantifizierbar.

Anlieferung Lehm aus 1 km Entfernung mit von Tieren gezogenen Karren: anfallende Verkehrsarbeit bei 169 m³ Lehm mit 338 t Gewicht je Saison

- $338 \text{ t} \times 1 \text{ km} = 338 \text{ t*km}$
- Verkehrsleistung Karren mit 300 kg bei 2 km/h: $0,6 \text{ t*km/h}^{214}$
- Anzahl benötigter Fahrten bei 300 kg je Fahrt: 1.127 Fahrten
- Transportzeit: 564 h + Rückfahrt: 564 h = Summe: 1.127 h
- Mh bei Begleitung des Fahrzeuges mit 1 Mitarbeiter: 1.127 Mh
- Mh für Be- und Entladen mit je 1,6 t/Mh: $2 \times 338 \text{ t} / 1,6 \text{ t/Mh} = 423 \text{ Mh}$
- Zeit Be- und Entladen mit 1 Mitarbeiter: 423 h; bei 2 Mitarbeitern: 212 h

Gesamtzeit bei 1 Mitarbeiter für Transport und 2 Mitarbeitern für Be- und Entladen:
 $1.127 \text{ h} + 212 \text{ h} = 1.339 \text{ h}$

Bei kontinuierlichem Antransport während der Betriebssaison der Ziegelei von 168 Tagen müssen demnach täglich $1.339 \text{ h} / 168 \text{ AT} = 8 \text{ h/AT}$ aufgewendet werden.

Dies könnte von 1 Fahrzeug bewältigt werden.²¹⁵

Dabei würden dann $1.127 \text{ Mh} + 423 \text{ Mh} = 1.550 \text{ Mh}$ anfallen.

Anlieferung Lehm aus 0,5 km – andere Parameter bleiben unverändert

Gesamtzeit: $564 \text{ h Fahrzeit} + 212 \text{ h Be- und Entladen} = 776 \text{ h}$ bzw. $4,6 \text{ h/AT}$

Mh: $564 \text{ Mh} + 423 \text{ Mh} = 987 \text{ Mh}$

Anlieferung Lehm aus 0,5 km, 1 km/h Fahrgeschwindigkeit wegen schwerem Gelände:
 Gleiche Werte wie in 1.

Unter den angenommenen Bedingungen ergibt sich für die Dormagener Ziegelei für einen Ofen mit 26 m³ Brennkammervolumen bei kontinuierlichem Betrieb während der Saison für das Anliefern von Lehm ein Aufwand im Bereich von ca. 1.000 Mh bis 1.500 Mh (100–150 MT), falls die Transporte mit einem Fahrzeug mit einer Maximalkapazität von 300 kg abgewickelt werden.

²¹⁴ Wegen der zu vermutenden schlechten Wege beim Transport wurden hier die Minimalwerte für Beladbarkeit und Geschwindigkeit eingesetzt.

²¹⁵ Dabei sind anfallende Rüstzeiten (siehe auch Kap. 14) für das Fertigmachen der Fahrzeuge und das Anspannen der Tiere im Sinne einer vereinfachten Betrachtung vernachlässigt. Bei detaillierteren Studien wären diese zu berücksichtigen.

Anlieferung Brennmaterial

Auch hier wurde mangels Befunden eine Beispielrechnung erstellt:

- Anlieferung von Scheitholz und Reisig aus 3 km Entfernung mit von Tieren gezogenen Karren mit 2 km/h
 - Verkehrsarbeit bei 61 fm (47 t) Derbholz + 49 fm (38 t) Reisig je Saison = 85 t:
 - $85 \text{ t} \times 3 \text{ km} = 255 \text{ t*km}$
 - Verkehrsleitung Karren wie bei Lehmtransporten:
 - Verkehrsleistung: $0,6 \text{ t*km/h}$
 - Transportkapazität: max. 300 kg²¹⁶ (= 0,7 rm Scheitholz bzw. 1,5 rm Reisig)
 - Anzahl benötigter Fahrten bei 300 kg je Fahrt: Derbholz: 157; Reisig: 127; Summe: 284
 - Transportzeit: 426 h + Rückfahrt: 426 h = 852 h
 - Mh bei Begleitung des Fahrzeuges mit 1 Mitarbeiter: 852 Mh
 - Mh für Be- und Entladen mit je 1,6 t/Mh: $2 \times 85 \text{ t} / 1,6 \text{ t/Mh} = 106 \text{ Mh}$
 - Zeit Be- und Entladen mit 1 Mitarbeiter: 106 h; bei 2 Mitarbeitern: 53 h
- Gesamtzeit bei 2 Mitarbeitern für Transport und Be- und Entladen: $852 \text{ h} + 53 \text{ h} = 905 \text{ h}$ ²¹⁷

Bei kontinuierlichem Antransport während der Betriebssaison der Ziegelei von 168 Tagen müssen demnach täglich $905 \text{ h} / 168 \text{ AT} = 5,4 \text{ h/AT}$ aufgewendet werden.

Dies könnte von 1 Fahrzeug bewältigt werden.²¹⁸

Dabei würden dann $1.810 \text{ Mh} + 106 \text{ Mh} = 1.916 \text{ Mh}$ anfallen.

Bei 10 Mh/MT ergibt dies 192 MT.

Welch starken Einfluss die Länge des Transportweges und die Transportgeschwindigkeit bei einem Landtransport mit einem Karren auf den Personalbedarf für die Brennmaterialbeschaffung (und -gewinnung) haben hat, zeigt Abb. 26:

²¹⁶ bzw. 2 m^3 . Sowohl für Scheitholz als auch für Reisig wird die maximale Beladung vom Gewicht der Ladung und nicht vom Volumen bestimmt: 300 kg entsprechen $0,7 \text{ rm}$ (= $0,7 \text{ m}^3$) Scheitholz bzw. $1,5 \text{ rm}$ (= $1,5 \text{ m}^3$) Reisig. Deshalb wird auch bei den nachfolgenden Berechnungen mit der Größe kg gearbeitet.

²¹⁷ Zwecks besserer Absicherung des losen Ladegutes und der zu unterstellenden schlechten Qualität der Waldwege wird hier im Gegensatz zum Transport von Lehm von 1 Gespannführer und 1 Begleiter ausgegangen; beide erledigen gemeinsam auch das Be- und Entladen.

²¹⁸ Dabei sind anfallende Rüstzeiten für das Fertigmachen der Fahrzeuge und das Anspannen der Tiere – vereinfachend – nicht berücksichtigt.

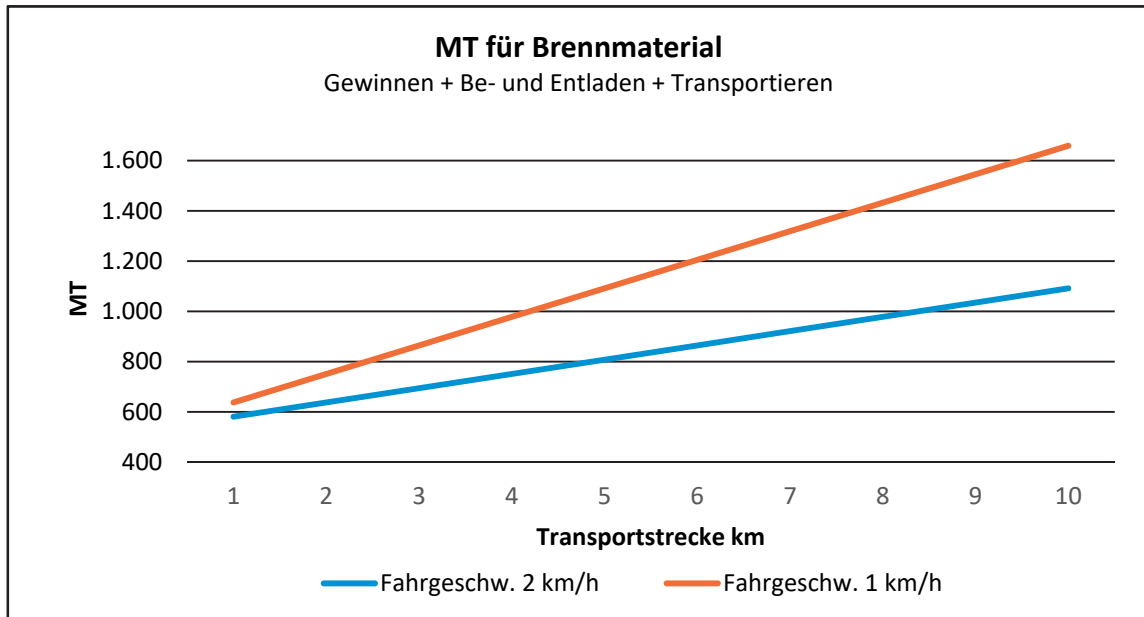


Abbildung 26 Aufwand für Brennmaterial in Abhängigkeit von Transportweg und -geschwindigkeit²¹⁹

So kann unter schwierigen Beschaffungsbedingungen der Aufwand für das in einer Saison benötigte Brennmaterial bei 10 km Transportweg nahezu den für die Ziegelherstellung²²⁰ erreichen.

Abtransport von Fertigware

Lieferung nach Bonn

Flusskilometer Dormagen – Bonn: 57 km²²¹

Bei Einsatz eines Schiffes mit 12 t Nutzlast könnten so 0,5 Chargen (ausreichend beispielsweise für ca. 190 m² Dachfläche) verschifft werden.

Der Transport würde bei 12 h Treideln je AT in ca. 5 Tagen möglich sein; zusätzlich würden ca. 4 h für das Be- und 4 h für das Entladen (bei Einsatz von 2 Mitarbeitern benötigt). Das Zurückbringen des Schiffes wäre stromabwärts in ca. 12 h möglich.

Fahrstrecke – Landkilometer (heute): 55 km

Karren mit 500 kg Nutzlast und 4 km/h.

Der Transport der gleichen Menge würde 24 Fahrten bei einer Fahrdauer von je 14 h (+ 14 h Rückfahrt) erfordern; und zusätzlich die 8 h für das Be- und Entladen.

²¹⁹ Darin sind die entfernungsunabhängige Brennmaterialgewinnung und das Be- und Entladen enthalten.

²²⁰ siehe oben: 1.853 MT.

²²¹ Flusskilometer aus Kanuverband 1980, 202, 204. Die Strecke war in der Antike vermutlich wegen der späteren Begründung des Flußlaufes einige km länger. Dies blieb hier unberücksichtigt.

Lieferung nach Haltern

Entfernung Rhein: Dormagen – Lippemündung 93 km (Rhein flussabwärts);

Lippe: Lippemündung – Haltern 55 km (Lippe flussaufwärts)²²²

Dauer bei 12 t Nutzlast: 19 h auf dem Rhein und 55 h auf der Lippe; und zusätzlich die 8 h für das Be- und Entladen. Die Gesamtzeit in Tagen ergibt sich wie folgt:

1,5 AT auf dem Rhein + ca. 5 Tage auf der Lippe (bei 12 h /AT) + ca. 1 Tag für das Be- und Entladen; insgesamt somit ca. 8 AT.

Lieferung in den vicus Dormagen

Lieferung einer Charge (26 t) in den vicus von Dormagen

Entfernung: maximal 1 km

Karren mit 500 kg Nutzlast und 4 km/h auf festem Weg

In 52 Fahrten wäre dies in 13 h + 13 h Rückfahrt abzuwickeln; für das Be- und Entladen wären für die 13 m³ ca. 16 h + 16 h zusätzlich anzusetzen.

Für eine Charge wären demnach 58 h nötig; bei 10 h/AT und einer Karre somit ca. 6 AT.

11.1.13 Trocken- oder Produktionshalle

Besonders auffällig im Dormagener Befund ist die Grundfläche der Halle: Sie entspricht mit ca. 400 m² nahezu exakt der mit einer Ofencharge *tegulae* erzeugbaren Dachfläche. Da die Rohlinge dafür beim Antrocknen flach ausgelegt werden müssen, damit sie sich nicht verformen (aber nach einigen Tagen des Antrocknens aufgestellt werden können), könnten somit alle Rohlinge einer Charge in dieser Halle nebeneinander Platz finden. Ob dies jedoch die maßgebliche Größe für die Bemessung der Halle war, ist daraus nicht herzuleiten. Eine Analyse von Charlier 2011, 301 zu gallo-römischen Befunden²²³, ergänzt um die Situation in Dormagen, kann hierzu ebenfalls keine generellen Aspekte erkennen lassen:

²²² Flusskilometer aus Kanuverband 1980, 204, 310.

²²³ entnommen aus Fig. 4.2.135 – Rapport entre les surfaces des halles de plan centré et des fours dans les tuileries gallo-romain. Hier wurden nur die Befunde ohne „atelier polyvalent“ verwendet, um Anlagen in Töpfereien auszuschließen.

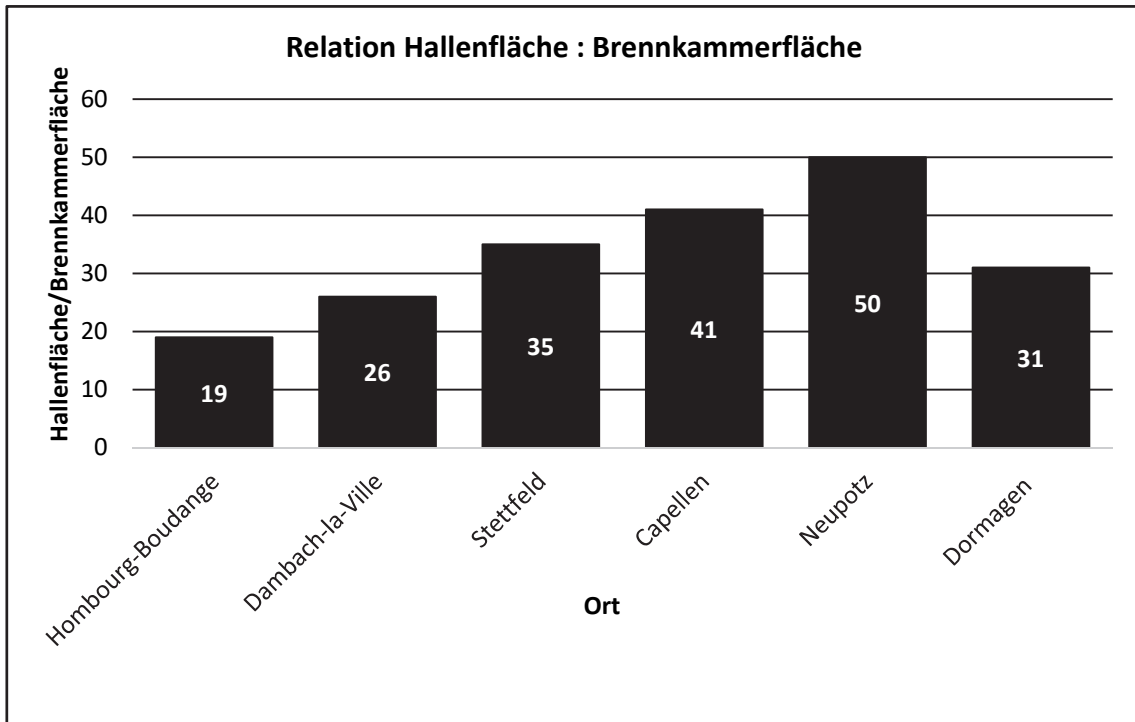


Abbildung 27 Relation Hallen- zu Brennkammerflächen nach Charlier

Die großen Schwankungen – bei 6 Werten um mehr als 100% – lassen eine Gesetzmäßigkeit bei der Bemessung der Hallengrößen, die auf Brennkammerkapazität basiert, nicht erkennen; gleichwohl reiht sich der Dormagener Befund als Wert knapp unter dem Mittelwert spektrumskonform in den Wertebereich ein.²²⁴

11.1.14 Zusammenfassung Dormagen

Die Berechnungen zum Befundort Dormagen mit den beiden hier betrachteten Öfen liefern ein erstes Beispiel für ein Betriebsmodell einer römischen Ziegelei und der dazu ermittelten Kennwerte: Für die Arbeiten in der Ziegelei, wie das Lehmaufbereiten, Formen und Brennen etc., werden 14,25 MT/AT für 13 Chargen mit je 10 Tagen Dauer (1.853 MT) benötigt. Wobei lediglich bei 4 MT/AT besondere Qualifikationen (als Former bzw. Brenner) benötigt werden. Außerdem fallen 85 MTw für den Lehmabbau²²⁵ und mindestens 641 MTw für die Brennmaterialgewinnung an.

²²⁴ Mit der Relation Hallenfläche zu Brennkammerfläche werden hier die Kapazität eines Ofens und die mögliche Auslegefläche einander gegenübergestellt; die Ofenkapazität wird zwar durch das Brennkammervolumen bestimmt; da die Höhe der Brennkammer hier jedoch für alle Öfen mit 2 m angenommen wird, kann auch diese Betrachtung verwendet werden. Außerdem wird – zumindest für die Auswertung – unterstellt, dass in den Ziegeleien Ziegel vergleichbarer Größen produziert wurden.

²²⁵ MT in Herbst und Winter mit je 8 Mh; falls Flußlehm zum Einsatz kommt und dieser zur Ziegelsaison abgebaut wird, erhöhen sich die Mh/MT, d. h. die Anzahl benötigter MT werden geringer.

Die Anlieferung von Lehm und Brennmaterial erfordert bei den hier angenommenen Entfernungen (0,5 – 1 km für den Lehm und 3 km für das Brennholz) und dem Transportmittel Karre mit maximal 300 kg Last einschließlich Be- und Entladen 100–150 MT und 192 MT. Damit ergibt sich eine Gesamtsumme von ca. 2.200 MT während der Saison von Mitte April bis Ende September und ca. 730 MTw im Herbst und frühen Winter. Sofern die Mitarbeiter in der Ziegelei während der Saison an 6 Tagen einer Woche jeweils 10 h tätig sind, werden je AT 17 Personen benötigt; bei anderen Arbeitszeiten je Person z. B. bei 5 h je AT verdoppelt sich dieser Wert. Die Anlieferung von Lehm und Brennmaterial kann während dieser Zeit von jeweils 2 Mitarbeitern mit je 10 h/AT erledigt werden. Zum Lehmabbau an 42 Tagen²²⁶ sind 2 Mitarbeiter erforderlich; für die Brennmaterialgewinnung mindestens 8 Mitarbeiter für 90 Tage²²⁷ mit jeweils 8 h/AT an 6 AT einer Woche.

Mit diesem Personaleinsatz können von Mitte April bis Ende September in einem Ofen mit 26 m³ Brennkammervolumen im optimalen Fall aus 169 m³ Lehm 4.000 m² Dachfläche²²⁸ oder 2.300 bis 4.500 m² Ziegelfläche hergestellt werden.²²⁹ Dabei würden 61 fm Derbholz als Scheitholz und 49 fm Reisig als Brennmaterial einzusetzen sein. Je nach Potential eines Bestandes – für Berechnungen hierzu wurden 3 mögliche unterschiedlich starke Waldbestände beschrieben und quantifiziert – müssen zwischen 0,2 und 0,7 ha Wald vollständig gerodet werden.²³⁰

Welche Auswirkung die Einsatztaktung der beiden rechtwinklig zueinander angeordneten Öfen mit einer gemeinsamen Feuerungsgrube auf die Maximalkapazität der Anlage gehabt haben kann, verlangt zusätzliche Angaben, die der Befundbericht nicht liefert. Ein gleichzeitiger Betrieb erscheint wegen der großen Hitze in der Feuerungsgrube bei einem Brand unwahrscheinlich; für einen überlappenden Betrieb fehlen die Indizien. So bleiben für die Betrachtungen als Szenarien, dass die beiden Öfen sukzessive im ständigen Wechsel oder in zeitlicher Folge ein Ofen nach mehrmaligem Einsatz durch den anderen ersetzt wurde. Die Öfen würden dann ein System bilden, das die Kontinuität beim Betrieb der

²²⁶ angenommener Zeitraum nach Ende der Ziegelsaison und vor Beginn des Lehmwitterns durch Frost.

²²⁷ Auswahl eines Zeitraums in Spätherbst und Winter (Setzung), der aufgrund der Witterungsverhältnisse für Holzgewinnung geeignet ist.

²²⁸ Beispielsweise wäre für ein Dach von 680 m² Fläche, wie es für die im Archäologischen Park Xanten rekonstruierten römischen Handwerkerhäuser zu decken war, der Ofen der Dormagener Ziegelei ca. 20 Tage belegt gewesen. (Dort wurden zwar keine Ziegel aus Dormagen verbaut, der Ziegleraufwand und die benötigten Ressourcen konnten jedoch über eine solche Betrachtung ermittelt werden.)

²²⁹ Diese Maximalwerte gelten nur, wenn während der Saison ausschließlich ein Ziegeltyp hergestellt würde.

²³⁰ Bei Verwendung des schwächsten Bestandes wäre zur Deckung des gesamten Reisigbedarfes noch ein Einschlag von weiteren 0,2 ha nötig; das zwangsläufig dabei anfallende Derbholz dieses Bestandes könnte für andere Zwecke eingesetzt werden (z. B. zur Köhlerei). Es ist jedoch auch denkbar, dass dieses Reisig durch Rodung von Buschwerk gewonnen wird. Berechnungen hierzu wurden nicht angestellt.

Ofenanlage durch Bereitstellung von Redundanz sicherstellen soll. Die Kapazität würde dann während der gesamten Saison ohne Unterbrechung aufrechterhalten werden können. In der vorliegenden Arbeit wurde der kleinere der beiden Öfen betrachtet; der andere Ofen ist ca. 10% größer. Die Auswirkungen, die dadurch für die Gesamtanlage möglich wären, wurden angesichts der engen Nähe der beiden Werte nicht zusätzlich berücksichtigt. Die Kapazität der Gesamtanlage würde sich bei beiden Szenarien gegenüber den berechneten Werten nicht verändern.

Die Halle auf dem Ziegeleigelände in der Nähe der Öfen, die vermutlich für das Trocknen und/oder das Formen der Ziegel genutzt wurde und deren Grundfläche nahezu exakt der Fläche einer Charge Dachziegel bei horizontalem Auslegen entspricht, kann nicht als generelle Messgröße für eine generelle Relation Brennkammergröße zu Hallenfläche einer Ziegelei verwendet werden. Einer solchen Annahme widerspricht die Auswertung weiterer Befunde mit Hallen aus einer Studie von Charlier 2011, die beträchtlichen Unterschiede in den Werten zeigt.

Die ermittelten Produktionsleistungen der Ziegelei können indes nur erreicht werden, wenn das hier beschriebene System über die gesamte Saison in der unterstellten Art und Weise ablaufen kann. Dies erfordert einen erheblichen Planungs- und Steuerungsaufwand; auch bei den vor und nachgeschalteten Aktivitäten, wie Brennmaterial- und Lehmbeschaffung mit mindestens einem halben Jahr Vorlauf zur Ziegelproduktion. Diesen kann nur ein sehr professionell geführtes Unternehmen bieten – und falls Zulieferer eingeschaltet waren, gilt das auch für diese. Bei militärisch oder paramilitärisch geführten Betrieben – wie hier in Dormagen anzunehmen ist – erscheint eine solche Betriebsführung eher wahrscheinlich als in kleineren Betrieben, in denen die Ziegelei möglicherweise sogar als Nebenerwerb und mit temporärer, von anderen Aktivitäten abhängiger Priorität betrieben wurde.

Außerdem können spontane Störungen im täglichen Produktionsgeschehen, wie z. B. bei der Rohstoff- oder Personalversorgung zu einer Verringerung der Leistungen führen. Zusätzlich stellen Witterungseinflüsse eine erhebliche Gefahr für einen reibungslosen Ablauf dar. Daraus ist zu schließen, dass die berechneten Leistungen je Jahr eher Maximalwerte für eine Ziegelei darstellen. Wie hoch Abschlüsse davon anzusetzen sind, ist jedoch weder durch ethnologische Vergleiche noch durch plausible Annahmen realistisch einschätzbar.

Ergänzend wurden auch Betrachtungen zum Aufwand für das Liefern von Ware ex Dormagen zu Kunden der Ziegelei angestellt: Beispielsweise ergibt sich für die im Befund vom Lager Bonn nachgewiesenen Ziegel aus Dormagen sich für das Transportieren per Schiff (treideln) eine Transportdauer von 5 Tagen und zusätzlich ca. 1 Tag für Laden und Löschen bei einem Ladevolumen von 0,5 Chargen Dormagener Produktion. Der vergleichbare Landtransport würde 24 Fahrten von je 14 h Dauer (+ 14 h Rückfahrt und den 8 h Laden und Löschen) erfordern²³¹. Ein Indiz für eine zu unterstellende Bevorzugung

²³¹ Bedarfsbestimmendes Merkmal ist hier die geringe Ladekapazität der Transportfahrzeuge.

des Wassertransportes gegenüber dem Landtransport.²³² Wie groß der Aufwand für einen Landtransport selbst bei kurzen Entfernungen werden kann, zeigt die Berechnung für die Lieferung einer Charge von der Ziegelei zum *vicus* von Dormagen. Dabei werden für einen Transportweg von nur 1 km ca. 6 Tage benötigt. Engpass bei dieser Transportart ist auch hier die geringe Beladungsfähigkeit der Transportfahrzeuge.

Die Berechnungen und Überlegungen zur Ziegelei können somit trotz einiger Desiderate und Annahmen einen Orientierungsrahmen für das Wirtschaften der Ziegelei am Standort Dormagen bieten. Da sowohl der Ofentyp (IIb) als auch die Brennkammergröße der beiden Öfen in Dormagen als ein Standard für Anlagen in den römischen NW-Provinzen angesprochen werden dürfen,²³³ sollten die hier gewonnenen Ergebnisse auf andere vergleichbare Befunde übertragbar sein.²³⁴

²³² Alles in allem erscheint Dormagen als Musterbeispiel für eine Standortwahl einer Ziegelei: Der Lehm steht – vermutlich als Flusslehm – in relativ geringer Entfernung zur Ziegelei an und der Abtransport der schweren Produkte kann per Schiff erfolgen. Ähnliche Verhältnisse sind für die in der Studie über römische Militärziegeleien von Bartel u. a. 2002 genannten Orte Frankfurt-Nied, Groß-Krotzenburg, Worms, Rheinzabern und Straßburg gegeben.

²³³ siehe Auswertung der Öfen in Abb. 41 und 42.

²³⁴ So berichten beispielsweise Ljamic-Valovic 1986, Tafel 6 über Ofen 2 im Befund von Feldkassel (nördl. von Köln) über einen Ofen von 16 m² Grundfläche (bei 2m Brennkammerhöhe: 32 m³ Brennkammervolumen), datiert terminus post quem: 1. Hälfte 1. Jh. AD; Tomašević-Buck 1982, 6 Abb. 9 für Kaiseraugst ebenfalls von 16 m² Brennkammerfläche. Auch für Rheinzabern berichtet Trimpert 2003, 49 über den dort vorgefundenen „gängigen“ Typus Schachtofen. Diese haben bei der angenommenen Brennkammerhöhe von 2 m ein Brennkammervolumen von 30 m³ (Ofen 1), 25 m³ (Ofen 2). Auch für die drei anderen Öfen (3–5) werden ähnliche Abmessungen (S. 40–47) genannt. Die Ergebnisse von Dormagen können somit im Maßstab 1 : 1 nach Rheinzabern übertragen werden. Da die Öfen in Rheinzabern in spätere Zeiträume datiert werden (2. bis möglicherweise 3. Jh. AD) liegt hierdurch auch ein Nachweis für den Einsatz dieses Ofentyps über mehrere Jahrhunderte in den NW-Provinzen vor. Das vorgelegte Betriebsmodell ist demzufolge für einen großen Abschnitt der römischen Epoche einsetzbar.

Die Lieferungen ex Rheinzabern erfolgten u. a. nach Mainz über 123 Fluss-km (nach Kanuverband 1980, 190–195); bei 4 km/h eine Fahrtdauer von 31 h.

Die Befunde in De Holdeurn weisen nach Trimpert 2003, 167–170, 214 und Schmitz 2002, 360 Öfen mit Brennkammerdurchmessern von 3,2 – 7,5 m auf. Die Größe und Bauform ist nach Berger 1969, 26 seltener als die hier betrachteten Öfen des „Normaltypus“. Nach der Typologie von Cuomo di Caprio 1972 sind sie als Typ Id (runde Öfen mit Mittelkanal) anzusprechen.

Für diese Bauform und Größe liegen weder Informationen über die Gestaltung der Brennkammerwände noch über deren oberen Abschluss vor; beispielsweise wären kuppelförmige, geschlossene Öfen möglich, da an diesem Ort auch Keramik produziert wurde.

Wegen dieser gravierenden baulichen – und somit auch anzunehmenden thermischen und verfahrenstechnischen – Unterschiede zu den hier beschriebenen Schachtofen erscheint eine direkte Übertragbarkeit der in dieser Arbeit gewonnenen Daten nicht gerechtfertigt.

11.2 Fallstudie Ofen mit 15 m³ Brennkammer

Vergleichend zu der Situation am Standort Dormagen mit Öfen von 26 und 30 m³ werden hier die Verhältnisse an einem Ofen aus der mit 42 % am stärksten vertretenen Gruppe mit einem Brennkammervolumen von 10 – 20 m³ analysiert. Dazu wurde als „Standardofen“ ein Brennkammervolumen von 15 m³ ausgewählt;²³⁵ als Produktionsprogramm die o. g. Standardformen:

Typ	Fläche m ²	Volumen l	Formen Mmin/Stck	Leistung l/Mh
<i>tegula</i>	0,17	5	3	100
<i>imbrex</i>		1,5	1,5	60
<i>tegula+imbrex</i>	0,17	6,5	4,5	87
<i>bessalis</i>	0,04	2	1	120
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	0,09	5	2,5	120
<i>sesquipedalis</i>	0,2	10	5	120
<i>bipedalis</i>	0,35	27	15	120
röm. Mauerziegel I	0,14	3,4	1,5	120
röm. Mauerziegel II	0,14	10	5	120

Tabelle 10 Standardprodukte

Die Berechnungen erfolgten nach dem für Dormagen angewendeten Vorgehen.

²³⁵ Öfen dieser Größenordnung stehen in Pöcking Ldkrs. Passau, Sargans (Federhofer 2007 167, 176), in Hoheneck Stadt Ludwigsburg, Speicher Stadt Bitburg-Prüm, Neuß (Trimpert 2003, 160, 180, 186–192).

11.2.1 Mögliche Chargengrößen

Maximale Füllmengen je Ziegel-Typ und Ofen bei 50% Füllgrad und 2 m Brennkammerhöhe

Maximale Flächen, die als Dachfläche oder Mauerfläche je Charge gebrannt werden können:

	Füllmenge bei 15 m ³	
	Anzahl	Fläche m ²
<i>tegula</i>	1.500	255
<i>imbrex</i>	5.000	
<i>tegula+imbrex</i>	1.154	196
<i>bessalis</i>	3.750	150
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	1.500	135
<i>sesquipedalis</i>	750	150
<i>bipedalis</i>	278	97
röm. Mauerziegel I	2.200	308
röm. Mauerziegel II	750	105

Tabelle 11 Füllmengen und mögliche Ziegelflächen

11.2.2 Zeitbedarf für das Formen je Charge

Zugehöriger Zeitbedarf für das Formen

	Mmin/Stck	Stücke/MT	MT je Ofen
<i>tegula</i>	3	200	7,5
<i>imbrex</i>	1,5	400	12,5
<i>tegula+imbrex</i>	4,5	133	8,7
<i>bessalis</i>	1	600	6,3
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	2,5	240	6,3
<i>sesquipedalis</i>	5	120	6,3
<i>bipedalis</i>	15	40	6,3
röm. Mauerziegel I	1,5	400	5,5
röm. Mauerziegel II	5	120	6,3

Tabelle 12 Zeitbedarf für das Formen je Charge

11.2.3 Dauer eines Brandes

Als Dauer eines Brandes wird auch hier die Summe der Zeiten für das Befüllen, Brennen, Abkühlen und Leeren angesetzt:

	Füllzeit AT	Brennen AT 24h	Abkühlen AT 24h	Leeren AT	Summe Bren- nen AT
<i>tegula</i>	0,6	2	2	0,2	5
<i>imbrex</i>	2,1	2	2	0,7	7
<i>tegula+imbrex</i>	0,5	2	2	0,2	4
<i>bessalis</i>	1,6	2	2	0,5	6
<i>pedalis</i> und Recht- eckplatten	0,6	2	2	0,2	5
<i>sesquipedalis</i>	0,3	2	2	0,1	4
<i>bipedalis</i>	0,1	2	2	< 0,1	4
röm. Mauerziegel I	1	2	2	0,5	6
röm. Mauerziegel II	0,3	2	2	0,1	4

Tabelle 13 Brennen: Zeitbedarf je Charge

Ein durchschnittlicher Wert von 5 Tagen Brenndauer scheint demnach für eine erste Berechnung sinnvoll zu sein – dazu wäre dann auch 1 Tag für Instandsetzungsarbeiten am Ofen zuzuschlagen.

11.2.4 Anzahl benötigter Formplätze

Für das Formen der Rohlinge stehen bei kontinuierlicher Produktion somit 6 Tage zur Verfügung. Die Anzahl mindestens benötigter Formplätze ergibt sich daraus zu:

	MT Formen gerundet	Anzahl Formplätze
<i>tegula</i>	8	1,3
<i>imbrex</i>	13	2,1
<i>tegula+imbrex</i>	9	1,4
<i>bessalis</i>	6	1,0
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	6	1,0
<i>sesquipedalis</i>	6	1,0
<i>bipedalis</i>	7	1,2
röm. Mauerziegel I	6	1,0
röm. Mauerziegel II	6	1,0

Tabelle 14 Anzahl mindestens benötigter Formplätze

Demnach sind für das Formen einer Charge in 6 Tagen 2 Formplätze nötig.²³⁶

11.2.5 Benötigte Lagerfläche für die Trocknung

Aus Tabelle 11 Füllmengen ist herleitbar, dass für das Trocknen der Rohlinge eine Fläche von ca. 300 m² zum horizontalen Auslegen der Rohlinge benötigt wird.

11.2.6 Ablauf

		Beginn
Formerarbeiten	6 Tage	15.4.
Trocknen	28 Tage	21.4.
Brennen	6 Tage	19.5.
erste Auslieferung		ab 26.5. (= 146. Tag)

Bei Saisonende am 273. Tag sind dann noch 127 Tage verfügbar; d.h. bei 6 Tagen je Brand sind theoretisch 21 weitere Brände möglich. Bei einem Füllgrad von 50% und regelmäßiger Vollausslastung des Ofens würden so je Saison $22 \times 7,5 \text{ m}^3 = 165 \text{ m}^3$ Lehm

²³⁶ Der zweite Formplatz ist jedoch nur sehr gering ausgelastet.

verarbeitet werden können. Theoretisch bietet ein solcher Ofen demnach die gleiche Saisonkapazität wie der Ofen in Dormagen mit 26 m³ Brennkammervolumen.²³⁷

11.2.7 Personalbedarf

MT je Charge

Lehmabbau

Für den Abbau von Lehm fallen die gleichen Zeitdaten an, wie in Dormagen: 2 Mitarbeiter und 34 AT 68 MT (85 MTw) je Saison.

Lehmaufbereitung

Zeitraum: vor/parallel zur Verarbeitung (dem Formen)
zusätzlich 1 MT/AT je Former

Ziegel formen

2 Formplätze mit 1,1 MT/AT

Rohlinge abtransportieren

1 MT/AT je Former

Ziegel trocknen

1 MT/AT je Former

Ofen füllen

2 Mitarbeiter werden benötigt – zum Anreichen und Setzen der Rohlinge – Aufwand: 0,6 MT/AT; Zeitbedarf: 3 h

Außerdem sind weitere 7 MA für diese 3 h zum Antransport der Rohlinge an den Ofen erforderlich²³⁸. Wie bei den Berechnungen für den Ofen in Dormagen soll auch hier die Annahme gelten, dass diese Arbeiten vom Personal für das Brennen ausgeführt werden; ein zusätzlicher Personalbedarf hierfür wird nicht ausgewiesen.

Ziegel brennen

Dauer: 2 Tage mit je 24h

Annahme: 2 MA dauernd als Brenner am Ofen: 2 × 24 Mh/AT; 5 MT/AT

Ofen abkühlen

1 Mitarbeiter für die Überwachung des Ofens über 2 Tage; 2,5 MT/AT

²³⁷ Für eine Abschätzung, ob der Ofen jedoch 70 % mehr Brände aushalten kann, fehlen entsprechende Daten. Allerdings wurde bei der Berechnung je Brand 1 Tag für Instandhaltung eingeplant. In diesen 21 Tagen, so sie in Blöcken verwendet würden, wäre dann eventuell auch eine Generalüberholung mit partiellem Teileaustausch möglich und die hier angegebene Anzahl Brände je Saison könnte erreicht werden.

²³⁸ Bei einem Transportweg von 50 m und 15 t Rohlinge beträgt die Verkehrsarbeit 0,75 t*km; bei 2,7 km/h Geschwindigkeit und einer Transportleistung von 0,068 t*km/h je Mitarbeiter ist diese Arbeit (einschl. Rückwege) in 22 h zu erledigen; d. h. für eine Abwicklung in beispielsweise 4 h sind hierfür ca. 6 Mitarbeiter notwendig. Diese sollen, wie o. g. Annahme, aus dem Personalbestand der Ziegelei rekrutiert werden.

Ofen leeren

1 MT nach Abkühlen des Ofens

Für den Abtransport auf das Fertigwarenlager fällt die gleiche Arbeitsmenge an wie für den Antransport (Annahme): 2 MT/AT bei einer Dauer von 1 AT

Ziegel lagern

1 MT/AT je Former

MT je AT von April – Ende September

kontinuierlich (gerundet)

Formen (Former + Lehmaufbereiter + Abträger) 3,3 MT/AT

Trocknen 1,1 MT/AT

Brennen (incl. Ofen füllen und leeren) 5 MT/AT

Fertigwarenlager 1,1 MT/AT

Summe 10,5 MT/AT

+ zusätzlich

Springer für Reparaturen, Handling und Zulieferung von Zuschlagstoffen, Wasser etc. 20% 2 MT/AT

Summe 12,5 MT/AT

+ Aufsichtspersonal 1 MT/AT²³⁹

Summe 13,5 MT/AT

Bei 6 Arbeitstagen je Person je Woche und einem 7 Tage-Betrieb der Ziegelei ergibt sich ein rechnerischer Bedarf von 16 Personen. Insgesamt: 22 Chargen × 6 AT × 13,5 = 1.782 MT je Saison. Lehmabbau und Aufbereitung am Abbauort (68 MT bzw. 85 MTw je Saison), Anlieferung von Lehm und Brennmaterial sowie der Abtransport von Fertigware sind hierin nicht enthalten.

²³⁹ Annahme.

11.2.8 Mögliches Jahresprogramm der Ziegelei

Mögliche Produktionsmengen bei 22 Chargen

Maximal $22 \times 7,5 \text{ m}^3 = 165 \text{ m}^3$ Lehm könnten so zu Ziegeln verarbeitet werden – mit 16 ständigen Mitarbeitern mit je 10 h/AT.

Demzufolge könnte mit einem Ofen dieser Größe nahezu die gleiche Menge Lehm zur gleichen Anzahl Produkten produziert werden, wie mit einem 26 m^3 Ofen.²⁴⁰ Ein kleinerer Ofen bietet dabei sogar wegen seiner größeren Anzahl Chargen, die dafür benötigt werden, eine größere Flexibilität beim Angebot unterschiedlicher Produkte.²⁴¹ Auch ist das Risiko bei Totalverlust einer Charge bei diesem kleinen Ofen geringer als bei dem größeren.

Benötigte Menge Brennmaterial

22 Brände in einem Ofen mit 15 m^3 Brennkammervolumen benötigen bei $1,0 \text{ MWh/m}^3$ Brennkammervolumen je Brand: $22 \times 15 \times 1,0 = 330 \text{ MWh}$

Bei 4 kWh/kg für trockenes Buchenholz ergibt sich daraus ein Holzbedarf von 82 t bzw. 105 fm.

Auch hier ergibt sich wegen der linearen Relation von Brennmaterialbedarf und Brennkammervolumen in MWh/m^3 der gleiche Brennmaterialverbrauch – und somit auch der gleiche Personalbedarf für die Brennmaterialgewinnung von 513 MT bzw. 641 MTw (wie für den größeren Ofen)

11.2.9 Zusammenfassung 15 m^3 Ofen

Ein Ofen mit 15 m^3 Brennkammervolumen kann nach diesen Berechnungen in einer Saison die gleichen Mengen Ziegel produzieren wie der größere aus dem Modell für Dornmagen. Dabei erhöht sich lediglich die Anzahl Chargen, die dazu gefahren werden müssen. Der Grund für diese Gleichheit liegt in den bei beiden Größen verwendeten Parametern: Brenndauern, Füllmengen, Brennmaterialmengen u. a. Diese sind linear mit der Größe der Brennkammer verknüpft; sie gelten deshalb auch für diese Klasse von Öfen; kleinere Öfen haben dabei eine kürzere Brenndauer und eine häufigere Anzahl an Bränden je Saison.

Einerseits ist zwar dadurch die Standfähigkeit eines solchen Ofens möglicherweise beeinträchtigt, bzw. fallen einzelne Chargen wegen verstärkter Instandhaltungsarbeiten

²⁴⁰ Die Gründe hierfür liegen im mathematischen Ansatz bei der Ermittlung der Brennzeiten: die Brenndauer ist linear mit dem Brennkammervolumen verknüpft (spez. Wert für die Brenndauer: 3 h Brenndauer je m^3 Brennkammervolumen). Da nach der gleichen Linearität die Anzahl Formplätze angepasst wurde, führt dies letztlich zur nahezu gleichen Gesamtkapazität beider Ofengrößen während einer Brennseason.

²⁴¹ Bei der Annahme, dass je Charge nur jeweils Ziegel eines einzigen Typs gebrannt werden.

aus; andererseits bieten diese Öfen aber andere Vorteile gegenüber den größeren Modellen: wegen der kürzeren Laufzeit der Brennvorgänge sind bei gleichem Zeitraum mehr Brennvorgänge und damit mehr Produktvarianten herstellbar: Das „Modell 15 m³“ ist im Lieferprogramm flexibler. Außerdem ist angesichts der geringeren Anzahl eingesetzter Produkte der Schaden bei einem Fehlbrand geringer. Der kleinere Ofen bietet, bei gleicher theoretischer Leistungsfähigkeit je Saison, somit größere betriebliche Vorteile. Dies ist vermutlich ein wesentlicher Grund für seine starke Verbreitung im betrachteten Gebiet.

11.3 Fallstudie kleiner Ofen 5 m³ Brennkammer

Zur Abrundung der Studien über die Situation bei verschiedenen Brennkammergrößen wurde mit den o. a. Parametern auch ein Ofen mit nur 5 m³ Brennkammervolumen analysiert.²⁴² Bei 5 m³ Brennkammer mit 50% Füllgrad und somit 2,5 m³ Lehm ergeben sich für die einzelnen Ziegeltypen folgende Füllmengen:

	Füllmenge bei 5 m ³	
	Anzahl	m ²
<i>tegula</i>	500	85
<i>imbrex</i>	1.667	–
<i>tegula+imbrex</i>	385	65
<i>bessalis</i>	1.250	50
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	500	45
<i>sesquipedalis</i>	250	50
<i>bipedalis</i>	93	32
röm. Mauerziegel I	735	103
röm. Mauerziegel II	250	35

Tabelle 15 mögliche Füllmengen je Ziegeltyp

²⁴² In der Auswertung der Brennöfen Abb. 41 sind dazu 20 Befunde aufgeführt.

Der Zeitbedarf für das Formen beträgt dann:

	Mmin/Stck	Stücke/MT	MT je Ofen
<i>tegula</i>	3	200	3
<i>imbrex</i>	1,5	400	4
<i>tegula+imbrex</i>	4,5	133	3
<i>bessalis</i>	1	600	2
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	2,5	240	2
<i>sesquipedalis</i>	5	120	2
<i>bipedalis</i>	15	40	2
röm. Mauerziegel I	1,5	400	2
röm. Mauerziegel II	5	120	2

Tabelle 16 Zeitbedarf für das Formen je Ziegeltyp

Angesichts der vergleichsweise geringen Anzahl Stücke je Charge in diesem kleinen Ofen ist sicherlich zu hinterfragen, ob die auf eine „industrieähnlich“ angelegte Modellstruktur des Prozessablaufs auch für eine solch kleine Anlage anzunehmen ist. Vielmehr wäre eher ein Kleinbetrieb mit nur sehr wenig Mitarbeitern – möglicherweise sogar im Nebenerwerb – zu unterstellen. Dort ist vermutlich mit höheren spezifischen Zeiten für das Formen und einer weniger engen Taktung bei den Bränden zu rechnen; insgesamt ist außerdem eine durch weniger arbeitsteilige Arbeitsweise geprägte Betriebsform anzunehmen. Der Brennmaterialbedarf von 690 kg Scheitholz und 560 kg Reisig je Brand wird dabei sicherlich nicht durch eigens dafür erfolgende Rodungen beschafft. Vielmehr kommen vermutlich Brennmaterialien aus anderen Quellen, wie Bauholzabfall o. ä. zum Einsatz. Denkbar wäre demnach ein Betrieb mit 1–2 Formern (+ Hilfskräften), die auch das Einsetzen und Brennen übernehmen und maximal alle 1 – 2 Wochen brennen; bei 24 Wochen/Saison: ca. 12 – 20 Brände ergäben so einen Kleinbetrieb, der 30 – 50 m³ Lehm je Jahr verarbeiten könnte.²⁴³

11.4 Fallstudie Herstellung Ziegel für Handwerkerhäuser in Xanten

Das hier entwickelte Modell bietet neben einer Anwendung zur Rekonstruktion von Produktionsbetrieben auch die Möglichkeit, für ausgewählte Bedarfsmengen von Ziegeltypen den dazu benötigten Herstellungsaufwand abzuschätzen. Beispielhaft wurde dazu der

²⁴³ z. B. für 750–1.250 m² Dachfläche mit *tegulae* und *imbrices*.

für die Dachbedeckung der rekonstruierten Handwerkerhäuser im Archäologiepark Xanten ausgewählt: Dort wurden 8.000 *tegulae* und 8.000 *imbrices* verbaut:²⁴⁴ Bei 5 l für die *tegulae* und 1,5 l für die *imbrices*: $40 + 12 = 52 \text{ m}^3$ Lehm verarbeitet. Bei $0,17 \text{ m}^2$ je *tegula* ergibt dies 1.360 m^2 Dachfläche. Ein Ofen wie in Dormagen mit 26 m^3 Brennkammervolumen und einem Füllgrad von 50% könnte die Menge dafür in 4 Bränden produzieren.²⁴⁵ Aufgrund der linearen Zusammenhänge zwischen den Mengen produzierter Ware und den benötigten Ressourcen können die benötigten MT in der Ziegelei, für den Lehmabbau und die Brennmaterialgewinnung als prozentuale Anteile aus den Werten des Dormagener Ofens ermittelt werden²⁴⁶:

Produzierte Menge Ziegel: 52 m^3 ; Jahresleistung Dormagen: 169 m^3 , Anteil: 31 %

- 574 MT in der Ziegelei
- 26 MTw Lehmabbau
- 199 MTw Brennmaterialgewinnung

11.5 Fallstudie „Ziegel für Rom“ – Übertragbarkeit des Modells in andere Regionen

Während die gebrannten Ziegel in den NW-Provinzen vorwiegend als Dachpfannen und Bauteile für den Innenausbau²⁴⁷, wie z. B. für Thermenanlagen, verwendet wurden, entstanden aus dem gleichen Baustoff in Rom Großbauten mit großvolumigen gemauerten Wänden.²⁴⁸ Es wurde deshalb geprüft, inwieweit die für die NW-Provinzen gefundenen Parameter und Zusammenhänge bei der Ziegelherstellung, bzw. die entwickelten Betriebsmodelle, auch für die dortigen Produktionen verwendbar sein könnten. Für den Fall einer Übertragbarkeit bietet sich die Möglichkeit, nicht nur die Betriebsmodelle der dortigen Ziegeleien zu rekonstruieren, sondern darüber hinaus aus der Menge der in einem Bauwerk eingesetzten Ziegel die dafür benötigten Ziegeleikapazitäten und den Ressourcenbedarf zu berechnen.

Dazu wurden die betrachteten Produkte, die einzelnen Elemente der Prozesskette, die Betriebsmodelle sowie die Spezifika der NW-Provinzen, wie z. B. die mögliche Dauer

²⁴⁴ Kienzle 2011, 226. siehe auch die Abfolge bei der Herstellung der Ziegel für Xanten in Kap. 13.2 Ziegel formen

²⁴⁵ Bei der Herstellung der Ziegel wurden moderne Trocknungsverfahren und Öfen verwendet. Technische Daten aus dieser Produktion sind deshalb für die Betrachtung antiker Anlagen nicht einsetzbar.

²⁴⁶ MT für die externen Anlieferungen von Lehm und Brennmaterial werden hier wegen fehlender realer Werte nicht berechnet.

²⁴⁷ siehe beispielsweise das Produktspektrum der Ziegelei in Dormagen.

²⁴⁸ u. a. die Trajans Thermen (Rossi 2016) und die Caracalla Thermen (DeLaine 1992).

einer Produktionssaison, auf ihre Übertragbarkeit in den italischen Raum hin überprüft. Die dabei benötigten Befundbeschreibungen zur Art der verbauten Ziegel und zu Ziegeleien nebst Angaben zu Öfen wurden der Literatur entnommen.

11.5.1 Ziegelformate

Die in Kapitel 6.2. als „römische Normen“ ansprechbaren Standards der *lateres* (am Maß für den römischen Fuß 1 *pes* = 29,6 cm orientiert) gelten für das gesamte römische Reich und können somit auf die Gegebenheiten in Rom übertragen werden. Beispielsweise wurden die *lateres*-Formen *bessalis* mit 16 – 32,5 cm, *bipedalis* mit 56 – 60 cm und *sesquipedalis* mit 36 – 37,5 cm in den Trajans-Thermen verbaut.²⁴⁹ *tegulae* stehen bei den Bauten in Rom bei weitem nicht so stark im Vordergrund wie in den NW-Provinzen und bleiben bei den Betrachtungen hier zunächst unberücksichtigt.

11.5.2 Prozesskette und Einzelaktivitäten

Die dargestellte Prozesskette für die Herstellung von Ziegeln sollte auch für die „Ziegel für Rom“ gelten; bei den Abfolgen, Verknüpfungen und Inhalten der einzelnen Aktivitäten sind für eine andere Region keine gravierenden Unterschiede anzunehmen: Der Prozess ist technologiegetrieben. Auch bei den Zeiten für das Formen und alle anderen Aktivitäten außer dem Brennen liegt es nahe, zunächst von den vorhandenen Werten auszugehen. Lediglich für das Trocknen der Ziegel ist wegen anderer klimatischer Verhältnisse im Mittelmeerraum mit höheren Tagestemperaturen zu rechnen, die die Trocknungsdauer verkürzen. Bianchi 2004, 274 setzt hierfür 15/20 Tage²⁵⁰ an. Eventuelle Anpassungen bei der Lage der Saisonzeit einer Ziegelei im Jahreskalender sind wegen des Klimas ebenfalls zu berücksichtigen.

11.5.3 Ofentypen/-größe, -Standorte

Wichtigste Parameter für die Prüfung einer Übertragbarkeit sind die Typen und Brennkammergrößen der eingesetzten Öfen. Nur wenn diese mit dem Spektrum der in den NW-Provinzen verwendeten übereinstimmen, ist eine Übertragung möglich. Demzufolge galt es zunächst, die Befundsituation zu Öfen offenzulegen, mit denen Ziegel für die Bauten in Rom gebrannt wurden. Bei der umfangreichen Berichterstattung zur Ziegelherstellung für Rom stehen meist Analysen der Stempel und deren mögliche Herkunftsorte bzw. der *figlinae* und deren Eigentümer, ermittelt mit surveys, im Focus. Nachweise zu Standorten

²⁴⁹ Rossi 2016, 31.

²⁵⁰ Für die NW-Provinzen wurden 28 Tage eingesetzt.

liefert beispielsweise Bianchi 2004, 289 für die Ziegel des Trajan Forums: Demnach liegen die Standorte der Ziegeleien in der Stadt Rom und im mittleren Tibertal mit den Städten Ameria, Statonia, Bomarzo, Orte und Narni:²⁵¹

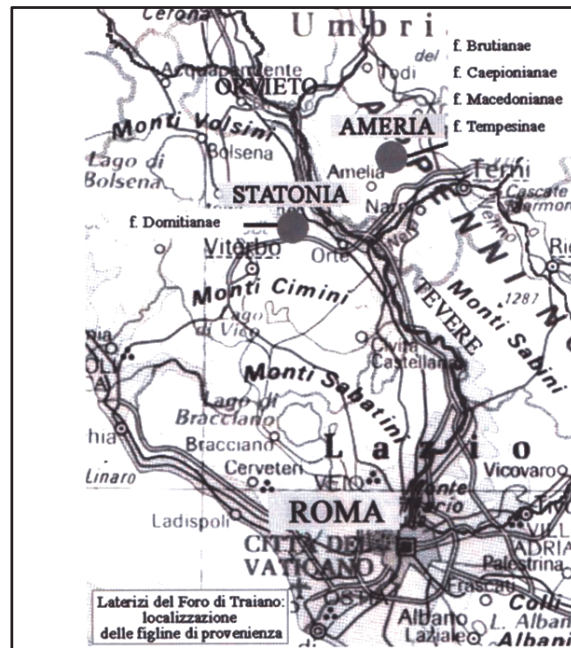


Abbildung 28 Geographische Lokalisierung der Ziegel-*figlinae* für das Trajan Forum (Bianchi 2004)

Informationen zu konkreten Befunden und insbesondere zu Abmessungen von römischen Ziegelöfen (bzw. Öfen für die „Ziegel für Rom“) liefern dagegen nur relativ wenige verwertbare Quellen.²⁵² Diese zeigen jedoch eine klare Dominanz und einen verbreiteten

²⁵¹ DeLaine 1992, 176 nennt lediglich Lehmvorkommen und evtl. mögliche Standorte von Ziegeleien für die Caracalla Thermen: „Clay is abundant in the subsoil of Rome, as tertiary alluvial deposits, often alternating with sands and gravel, which underlie the younger volcanic formations of tufa and pozzolanas. During the Roman periode, the clay in the area between the Janiculum and the Vatican hills on the west bank of the Tiber were certainly worked, and continued to be so to the end of the 19th century. Other suburban areas seem also to have supplied brickworks, e. g. the Esquiline, Caelian, and at the start of the Via Appia. The clay was also accessible in the Colli di Aquatraversa along the Via Cassia. The mixture of calcareous clay and pozzolana of the Tiber alluvium and its tributaries also made good bricks, and possible sites for various figlinae such as the Sarese along the Via Salaria and extending as far north as Orte and the river nera have been identified.“ Angaben zu Öfen an diesen Orten werden nicht gemacht.

²⁵² siehe auch Cuomo di Caprio 1972, 377 Zur Basis der Auswertungen für die Typologie der Brennöfen: Die hier untersuchten Öfen stammen aus dem italienischen Raum und beziehen sich auf den Zeitraum von der Vorgeschichte bis zur gesamten römischen Epoche. Für die relativ geringe Zahl ... („Le fornaci qui esaminate sono quelle ritrovate nell'area italiana e si riferiscono all'arco di tempo che va dalla preistoria a tutta l'epoca romana. le ragioni essenziali del numero relativamente esiguo ...“); DeLaine 1995, 559 „that only a few brick-kilns have been discovered in and around Rome and a very few brick-producing areas are mentioned in the literary ...“; DeLaine charakterisiert noch 2016 (DeLaine 2016, 226) die Situation

Einsatz von Öfen des in den NW-Provinzen vorgefundenen Typs (Iib nach Cuomo di Caprio).

Beispiele:²⁵³

Masseria 1982–1983, 30: in Valfabbrica Typ Iib 16 m³ Brennkammervolumen (bei Annahme von 2 m Brennkammerhöhe)
 Petracca – Vigna 1985, 132: in Rom Typ Iib 18 m³
 Gasperoni 2010, 176: in Mugnano in Teverina 15 m³
 Demnach waren hier Öfen der kleineren Bauart – im Bereich 10 – 20 m³ – Brennkammervolumen im Einsatz.

Für andere Regionen werden für diese Epoche ebenfalls Öfen vom Typ Iib, aber mit größeren Brennkammern genannt:

Bermond Monatanari 1962, 164: Region Emilia 19 m³
 De Maria 1978, 82 f.: Region Emilia 24 m³
 Cuomo di Caprio 1998, 9: „Im Allgemeinen hat der Ofen einen länglichen rechteckigen Grundriss und einen zentralen Korridor“ mit den „Abmessungen: 5 – 3,5 – 1,5 m“²⁵⁴; hier hätten die Öfen vom Typ Iib maximal 3 × 5 m² Brennkammerfläche und damit bei 2 m Höhe 30 m³ Brennkammervolumen.

Für beide Gruppen erscheint eine Übertragbarkeit der Brenndaten aus den NW-Provinzen möglich, da die für die Rechnungen benötigten Angaben nicht nur für die relevante Region, sondern auch für andere italische Gebiete im gewählten Zeithorizont als typisch genannt werden. Zusätzlich liegt der Gedanke nahe, dass römische Legionäre, die in den

mit: „Even our knowledge of the production and distribution of brick made for Rome is out of ordinary“ Sie beschreibt damit im nachfolgenden Text, dass die Informationen über Produktion und Distribution der „Ziegel für Rom“ keine Informationen über Befunde zu Produktionsstätten liefern, sondern auf der Analyse von Stempeln lediglich die *praediae* und *figlinae* lokalisieren. Als einziges Beispiel für eine mögliche Berechnung von Produktionskapazitäten betrachtet sie den von Gasperoni 2010 beschriebenen Ofen.

²⁵³ siehe auch Quellenkatalog in Kap. 13.6.1. Der von Scrinari 1983, 203 vorgelegte Rundofen auf dem Lateran, der im Mittelalter in einen Kalkofen umgewandelt wurde, und der von Bianchi 2004, 274 beschriebene, heute für das Brennen von Ziegeln eingesetzte Rundofen in Castel Viscaro, können nach heutigem Wissensstand dagegen nicht als repräsentativ für eine durchgängige und weite Verbreitung solcher Öfen für die Ziegelherstellung in römischer Zeit angesehen werden. Dazu fehlen Berichte über vergleichbare Anlagen der hier relevanten Epoche. Dies gilt auch für den großen ovalen Ofen in Vingone (Scandicci bei Florenz) mit einer 7,5 m langen und 4 m breiten Brennkammerfläche (siehe Patera 2006, 43–50)

²⁵⁴ „In generale le fornaci hanno pianta rettangolare allungata. Sono caratterizzate da un corridio centrale con muretti ortogonali intervallati da intercapedini; le dimensioni variano in lunghezza e rientrano in tre ordini di grandezza: 5 – 3,5 – 1,5 metri.“

NW-Provinzen Ziegeleien aufgebaut und betrieben haben, sich eher auf technologisches Know-How stützten, das sie aus ihrem Herkunftsland Italien mitbrachten, als in der Fremde neue Techniken auszuprobieren und einzusetzen. Zumindest bis zur Vorlage neuerer Befunde mit gegenteiligen Angaben ist damit eine valide Basis für Berechnungen zu den Ziegeln für Rom gegeben. Deshalb konnte das für die Typ IIB-Öfen aus den NW-Provinzen entwickelte Betriebsmodell auf die römischen Verhältnisse angewendet und auf dieser Grundlage Betrachtungen zu Personal- und Materialbedarfen etc. angestellt werden.

11.5.4 Betriebsmodelle

Für die NW-Provinzen wurden Annahmen zur Anzahl der Arbeitsstunden je Arbeitstag, der Betriebszeit je Woche, der Anzahl Arbeitstage eines Mitarbeiters je Woche sowie die Produktionszeiten je Jahr (Saison von Mitte April bis Ende September) getroffen und in diesem Rahmen die maximale Produktionsleistung eines Betriebes sowie die Anzahl benötigter Mitarbeiter, der Ressourcen etc. ermittelt.

Für die italischen Betriebe liegen außer zur Produktionszeit je Jahr keine Informationen vor. Deshalb werden für erste Berechnungen die o. g. Daten übernommen; lediglich die Lage der Saisonzeit einer Ziegelei im Jahreskalender wurde neu betrachtet: Vitruv nennt als Zeitraum für das Produzieren die „Frühlings- und Herbstzeit“, damit die Rohlinge gleichmäßig trocknen, und schließt den Sommer als Zeit für das Ziegelformen aus.²⁵⁵ Detailliertere Aussagen hierzu werden nicht gemacht. Es ist jedoch zu vermuten, dass in den Monaten Juli und August (oder Juni und Juli) Stillstand beim Formen herrscht. Da aber ebenfalls anzunehmen ist, dass als Frühlings- d. h. Produktionsbeginn bereits Mitte März angesetzt werden kann, und nicht wie in den NW-Provinzen erst Mitte April, würden bei gleichem Saisonende demnach nur 30 Tage im Jahr weniger zur Verfügung stehen. Eine Verschiebung des möglichen Produktionsendes auf Ende Oktober²⁵⁶ würde auch diese Verkürzung kompensieren.²⁵⁷ Damit kann hier für das Ziegelproduzieren im italischen Raum die gleiche Anzahl Arbeitstage je Jahr angenommen werden, wie in den NW-Provinzen; d. h. 168 Arbeitstage bzw. 24 Wochen.

²⁵⁵ Vitruv 1964 liber secundus, III, Abs. 38 Die während der Sommersonnenwende („per solstitium“) gemachten Ziegel trocknen demnach zu schnell und drohen dadurch zu reißen („Ducenti auem sunt verum tempus et autumnale, ut uno tenore siccescant. Qui enim per solstitium parantur, ideo vitiosi fiunt, quod, summum corium sol acriter cum praecoquit, efficit, ut videatur aridum, interior autem sit non siccus; et cum postea siccescendo se contrahit, perrumpit ea, quae erant arida.“).

²⁵⁶ <<https://www.wetter.de/klima/europa/italien/rom-s99000052.html>> (02.02.2018): nach heutiger Klimatabelle beträgt die mittlere Temperatur in Rom Ende Oktober noch ca. 18° C.

²⁵⁷ Außerdem könnte die erste Charge wegen der kürzeren Trocknungszeit der Rohlinge (15/20 statt 28 Tage) früher trocken sein und so weitere Tage für die Dauer der Brennsaison liefern.

Als Ofenkapazitäten stehen dann für Berechnungen aus obigem Modell 15 m³ oder 26 m³ große Brennkammern zur Verfügung. Da beide Größen die gleiche Saisonkapazität und die gleichen Ressourcenbedarfe bei Personal und Material haben, ergibt sich für einen spezifischen Bedarf die gleiche Anzahl Öfen und die gleiche Anzahl benötigtes Personal etc. Die Unterschiede in der Taktung der Prozessketten bei den beiden Ofengrößen ist für die Ermittlung der Kapazitäten und Ressourcen nicht relevant.

Auf dieser Basis kann auf einfache Art für die Menge in einem Bauwerk verbauter Ziegel je Ziegeltyp der Auslastungsgrad eines einzelnen Ofens oder die Anzahl benötigter Öfen berechnet werden, falls ein Ofen nicht die benötigte Kapazität bereitstellen kann. Wesentliche Richtgrößen sind dabei:

- 169 m³ verarbeitbarer Lehm je Saison und Ofen.
- 14,25 MT je AT fallen während der Saison je Ofen an.²⁵⁸
- 68 MT sind für die Gewinnung des Lehms nötig.
- 513 MT beträgt der Personalbedarf für das Gewinnen des Brennmaterials.²⁵⁹

Zusätzlich sind noch die Transporte zu berücksichtigen, deren Aufwand bzw. Zeitbedarf sich nach den Entfernungen und den eingesetzten Transportmitteln richtet.

11.5.5 Brennholzgewinnung

Unter der Annahme, dass auch im italischen Raum in der Regel Holz als Brennmaterial eingesetzt wurde, sind auch bei den zugehörigen Kenngrößen keine Änderungen anzunehmen. Als Holzart kann außerdem Buche verwendet werden; stehen doch noch zu Beginn des 19. Jhs. im Apennin im Bereich ab 1.000 m Höhe dichte Buchenwälder.²⁶⁰ Dies erscheint demzufolge auch für die relevante Zeitepoche als Annahme gerechtfertigt. Für erste Schätzungen sollen dann auch die o. g. Bestände als Orientierung verwendet werden – zumal schon für die Regionen Ostpolen und NW-Provinzen ähnliche Bestandsdichten solcher Wälder ermittelt wurden.

Der Aufwand zum Gewinnen des Brennmaterials wurde oben in einem elementaren Schema der Aktivitäten vom Fällen eines Baumes bis hin zur Herstellung von Scheitholz beschrieben und quantifiziert. Da die gleichen Arbeiten bei gleicher Holzart auch hier zu erwarten sind, wurden auch die zugehörigen Personalbedarfsdaten eingesetzt.

²⁵⁸ Angesichts möglicher großer Schwankungen bei den Arbeitszeiten je Tag der einzelnen Arbeiter (Einsatz von Sklaven oder Angestellten mit evtl. unterschiedlichen Tätigkeitszeiten) wird hier auf das Ausweisen von Werten zur Anzahl benötigter Personen verzichtet.

²⁵⁹ siehe auch nachfolgendes Kapitel.

²⁶⁰ Roon 1845 Bd. 2, 658.

11.5.6 Transporte

Bei den außerbetrieblichen Transporten können die vorliegenden Werte für die Transportleistungen je Transportart, die z. T. auch aus römischen Quellen gewonnen wurden, für Berechnungen herangezogen werden; regionale Unterschiede sind hierfür nicht zu vermuten.

11.5.7 Beispielrechnung – Ziegel für die Caracalla-Thermen

Auf der Basis dieser Übertragbarkeit der Daten aus den NW-Provinzen wurden Quantifizierungsbetrachtungen für einen römischen Ziegelbau, die Caracalla-Thermen, angestellt.²⁶¹ Dabei stehen die in sehr großen Mengen als Mauersteine verwendeten Ziegelprodukte und nicht die in den NW-Provinzen meist dominierenden Dachziegel im Vordergrund. Für die Berechnungen zum Bedarf an Öfen und Ressourcen, wie Material und Personal, sowie für Transporte der Ziegel aus dem oberen Tibertal nach Rom liefert DeLaine die zu verwendenden Mengenangaben:²⁶²

<i>bessales</i>	6.640.000
<i>sesquipedales</i>	1.280.000
<i>bipedales</i>	1.910.000

Zugehörige Abmessungen²⁶³

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

²⁶¹ Mangels konkreter Befundberichte zu einzelnen Ziegeleien und deren Öfen etc. konnten keine Betriebsmodelle zu einzelnen Anlagen, wie z. B. für Dormagen berechnet werden.

²⁶² DeLaine 1992, 319 hier verwendet: Summenwerte. (Die Einzelwerte dazu, die auf davor liegenden Seiten genannt sind, ergeben zwar andere Summen. Die Abweichungen können nicht aufgeklärt werden und bleiben hier unberücksichtigt.)

bessales 300 2.550 + 661; 305 2.590 + 775 ; 319 Cisternes 720, Hypocausts 97; Summe = 7.393.000

sesquipedales 300 628; 305 646; 319 Cisternes 180; Summe = 1.454

bipedales 300 466; 305 799; 319 Cisternes 35, Hypocausts 46; Summe = 1.346.000

²⁶³ Zu Standardabmessungen gibt DeLaine 1992, 175 als Dicken der *lateres* lediglich „two different ranges of thickness“ ohne Angaben von Werten an. Zur Qualität der Daten in DeLaine 1992 siehe auch Kap. 13.6.2

Dies ergibt folgende Gesamtvolumina an benötigtem Lehm

<i>bessales</i>	6,640 Mio × 2 l	= 13.280 m ³
<i>sesquipedales</i>	1,280 Mio × 10 l	= 12.800 m ³
<i>bipedales</i>	1,910 Mio × 27 l	= 51.570 m ³
Summe		77.650 m ³

Bei einer Ofenkapazität von 169 m³ Lehm je Saison wird demnach folgende Anzahl Öfen je Jahr mit optimalem Betrieb benötigt:²⁶⁴

<i>bessales</i>	79
<i>sesquipedales</i>	76
<i>bipedales</i>	305

Als Bauzeit können nach DeLaine 5 Jahre angesetzt werden.²⁶⁵

Bei gleichmäßig verteilter Herstellung über die Jahre werden dann

$$79/5 = 16 + 76/5 = 15 + 305/5 = 61 \text{ Su.: } 92 \text{ Öfen}$$

5 Jahre lang benötigt.²⁶⁶

Da die Öfen sicherlich nicht ohne größere Instandsetzungsarbeiten (mit Teil- oder Totalerneuerungen) in diesem Zeitraum ununterbrochen laufen können, ist dies nur die Anzahl

²⁶⁴ Vorausgesetzt ist hier ein gleichmäßiges Produzieren der drei Produkte in konstantem Mengenmix über die Zeit *bessales* : *sesquipedales* : *bipedales* = 6,64 : 1,28 : 1,91.

²⁶⁵ DeLaine 1992, 37/38: Beginn der Ziegelproduktion 212 AD; Ende der Arbeiten (wenn der Bau überhaupt vollständig fertiggestellt wurde) ca. 216 oder 217. Daraus wurden 5 Jahre als Annahme hergeleitet.

²⁶⁶ Als Ergänzung zu den von DeLaine nur grob beschriebenen Ziegelabmessungen der *sesquipedales* kann auch folgende Rechnung erstellt werden: Statt der *sesquipedales* werden die lt. Harley 1974, 70 am häufigsten bei römischen Bauten verwendeten Mauerziegel im Format 45 × 30 mit einer minimalen Dicke von 2,5 cm (3,4 l Volumen) eingesetzt. Dann ergibt sich ein Lehmbedarf von 4.350 m³ (statt der 12.800 m³). Statt 15 Öfen wären dann nur noch 5 Öfen je Jahr für diesen Ziegeltyp nötig. Werden auch bei den *bessales* geringere Dicken verwendet (2,5 cm bei gleichzeitiger Beibehaltung von Länge und Breite) ergäben sich bei dann 6.640 m³ Lehm und 8 statt 16 Öfen. Allerdings ist die sich daraus ergebende Summe von 74 Öfen sicherlich eine rechnerische Untergrenze, da dann die beiden kleineren Formate nur noch in der dünneren – und kleineren – Version hergestellt worden wären. Weitere Beispiele für den Einsatz relativ dünner Mauerziegel werden von Rossi 2016, 31 für die Trajans-Thermen genannt: *bessales* 3–4,5 cm; *bipedales* 2–5,5 cm; *sesquipedales* 3,5–4,5 cm Dicke. Genauere Untersuchungen des Baubefundes wären hier für eine Präzisierung notwendig. Zur Erprobung des Rechenmodells sind jedoch die hier verwendeten Daten ausreichend; zumal sie durch diese Vergleichsrechnung schon eine mögliche Untergrenze für den Ressourcenbedarf darstellen.

ständig betriebener Öfen. Eventuell vorhandene Redundanzanlagen sind hier nicht berücksichtigt. Um 92 Öfen parallel zu betreiben, fallen rein rechnerisch je Saison mindestens $92 \times 14,25 \text{ MT/AT}$ (oder $13,5 \text{ MT/AT}$)²⁶⁷ = 1.311 MT/AT (oder 1.242 MT/AT) an. Bei 13 Chargen (je Saison) mit je 10 AT ergeben sich daraus:

130 AT \times 1.311 MT/AT = 170.430 MT. Bzw. insgesamt in 5 Jahren:
852.000 MT (oder 807.000).

Sicherlich können durch Kumulieren von Öfen zu Ofenanlagen innerhalb einer Produktionsstätte davon einige der MT durch Optimierung von Fertigungsabläufen eingespart werden. Abschätzungen hierzu erscheinen jedoch wegen der fehlenden Beschreibung realer Befunde nicht sinnvoll.

DeLaine 1992 nennt dagegen für die gleichen Ziegelmengen erheblich geringere Personalbedarfe: 319 Table 21 enthält 122.000 MT. Die Aussage „The production of brick and lime may not have required many more than 500 or 600 men each, plus 300 to 400 carters ...“²⁶⁸ ergibt (ohne die carters!) bei 220 AT je Jahr²⁶⁹ $500 - 600 \times 220 = 110.000 - 132.000 \text{ MT}$ in einem Jahr. Demzufolge sind alle Ziegel in nur einem Jahr hergestellt worden; eine vermutlich eher unwahrscheinliche Theorie, würde sie doch den 5-fachen Bedarf an Produktionsanlagen gegenüber einer Situation „Produktionszeit = Bauzeit“ von 5 Jahren erfordern, und zudem müssten alle Ziegel schon vor Baubeginn fertig produziert sein. Diese Problematik wird jedoch in der Arbeit nicht angesprochen. DeLaine 1997, 127 Table 12 enthält zum gleichen Objekt: 75,5 unskilled + 30,4 skilled 000s man-days = 105.900 MT. Der Wert liegt im gleichen Bereich der Zahlen aus DeLaine 1992.

Ermittelt man für diese Werte den spezifischen Zeitbedarf je Ziegel, ergibt sich mit 6,5 Mmin für sämtliche Arbeiten der Ziegelherstellung ein unrealistischer Betrag.²⁷⁰ Im Vergleich dazu liefern die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit hierfür einen Wert von ca. 52 Mmin. Recherchen zur Herkunft des geringen Wertes läßt die Struktur der Datenangaben in den Arbeiten von DeLaine nicht zu.

²⁶⁷ bei einem Ofen von 15 m³ Brennkammer.

²⁶⁸ DeLaine 1992, 360. Die Aktivitäten der „carters“ (lt. DeepL <https://www.deepl.com/translator#en/de/carterer%0A> 27.04.2019 „Fuhrleute“) werden nicht genannt. Sollten innerbetriebliche Transporteure gemeint sein, würde sich der Wert für die Personalbedarfe um 66.000 – 88.000 MT erhöhen. Angesichts der Unsicherheit dieser Zuordnung werden sie bei den nachfolgenden Betrachtungen der spezifischen Werte für die Mmin je Ziegel nicht berücksichtigt. Zumal sie von DeLaine in der Version von 1997 bei der Berechnung des benötigten Personals für die Ziegeleien nicht wieder angesprochen werden.

²⁶⁹ DeLaine 1992, 319, 18

²⁷⁰ berechnet als Mittelwert für das gesamte verbaute Sortiment mit 6,64 Mio *bessales*, 1,28 Mio *sesquipedales* und 1,91 *bipedales* (aus DeLaine 1992, 319 Table 21)

Zusätzlich zum Ziegeleibetrieb erfordern die Arbeiten für den Lehmabbau und die Brennmaterialgewinnung weitere MT: Bei 2,5 m³ Lehm je MT sind dies für den Abbau und die Aufbereitung am Abbauort je Jahr

$$77.650 \text{ m}^3 / 5 / 2,5 \text{ m}^3/\text{MT} = 6.212 \text{ MT}$$

Ein ganzjähriger Abbau angenommen, ergibt bei 350 Arbeitstagen je Jahr 18 MT je Arbeitstag.²⁷¹

Der Bedarf an Brennmaterial mit den o. g. spezifischen Verbräuchen je Jahr von 61 fm Buchenholz und 49 fm Reisig je Ofen ergibt bei 92 gleichzeitig laufenden Öfen einen Jahresbedarf von 5.612 fm Holz und 4.508 fm Reisig; in 5 Jahren somit 28.060 fm Holz und 22.540 fm Reisig; d. h. ca. 30.000 t.²⁷² Beim Vorhandensein der Bestände 1, 2 oder 3 zu:

Derbholz: $460 \times 0,7 = 322$ ha (**Bestand 1**), 138 ha (**Bestand 2**) oder 92 ha Wald (**Bestand 3**) mit Totalrodung.²⁷³

Zur Gewinnung des Brennmaterials sind einzusetzen:

Je Jahr: $92 \times 513 \text{ MT} = 47.196 \text{ MT}$;

bei 350 Arbeitstagen Waldarbeit je Jahr fallen hierfür 135 MT je AT an.

Somit werden nach dieser Rechnung für Ziegelherstellung, Lehmabbau und Brennmaterialgewinnung insgesamt ca. 1.100.000 MT (oder 1.040.000 MT bei kleinerem Ofen) + ca. 31.000 MT (= $5 \times 6.212 \text{ MT}$) + ca. 236.000 MT (= $5 \times 47.196 \text{ MT}$) = ca. 1,4 Mio MT aufzuwenden sein.²⁷⁴ Berechnungen zu den externen Transporten von Lehm und Brennmaterial erscheinen angesichts der wenig präzisen Angaben zu den Standorten der einzelnen Ziegeleien am ehesten anhand von möglichen Szenarien sinnvoll:

²⁷¹ Ganzjähriger Abbau könnte im Mittelmeerraum wegen der besseren Witterungsverhältnisse im Vergleich zu den NW-Provinzen möglich sein. – Nicht jeder Mitarbeiter arbeitet während dieser Zeit, sondern der Abbaubetrieb könnte mit wechselnder Belegschaft während dieser Zeitspanne im Jahr aktiv sein.

²⁷² DeLaine 1992, 319 nennt einen Bedarf von 15.3000 t; die bei ihrer Berechnung verwendeten spezifischen Bedarfswerte stammen aus Industrieöfen des 19. Jh. (Herstellung von modernen Mauerziegeln und mit völlig anderer Ofentechnik); ein Vergleich mit den hier verwendeten Daten ist deshalb nicht sinnvoll; siehe auch Kap. 13.6.2

²⁷³ Als Annahme – hier zur Orientierung. (Auf die Berechnung des Bedarfs für das zusätzlich aus anderen Quellen noch zu beschaffende Reisig wurde hierbei verzichtet.)

²⁷⁴ Ohne externe Transporte von Lehm, Brennmaterial und Fertigware. Die Unterschiede zwischen den beiden Ofengrößen können angesichts der Höhe der Gesamtsumme hierbei vernachlässigt werden.

Beispiel für den Abtransport von Fertigware ex Orte nach Rom:

Entfernung Orte – Rom: 89 km auf dem Tiber²⁷⁵ Verkehrsarbeit je Jahr: $31.060 \text{ t} \times 89 \text{ km}$
 = 2,8 Mio t*km

Schiffstransporte

Einsatz von Binnenschiffen mit max. 12 t Beladung und 5 km/h:

2.589 Fahrten je Jahr mit je 18 h Dauer (reine Fahrzeit ohne Pausen; Summe: 46.600 h)

+ 2.589 Rückfahrten (Treideln der leeren Schiffe) bei 2 km/h²⁷⁶ mit je 45 h Dauer (Summe: 116.500 h)

+ 1.941 MT²⁷⁷ Beladen + 1.941 MT Entladen.

Unter der Annahme, dass je Schiff 2 Mitarbeiter eingesetzt sind, fallen für die 2.589 Fahrten und 2.589 Rückfahrten mit insgesamt $46.600 \text{ h} + 116.500 = 163.100 \text{ h}$ Zeitbedarf und 326.200 Mh (32.620 MT) an. Zusammen mit den $1.941 + 1.941 \text{ MT}$ für das Be- und Entladen ergibt sich so ein Bedarf von 36.500 MT.

Da vermutlich der Tiber nicht ganzjährig fahrbar ist, sondern im Sommer (angenommen mit 3 Monaten) trocken liegt, stehen hierfür dann $365 - 90 = 275$ Tage zur Verfügung. Je Tag dieser Zeit wären 133 MT bereitzustellen.²⁷⁸ An jedem dieser 275 AT müssten mindestens 10 Schiffe starten, wenn eine kontinuierliche Lieferung unterstellt wird – an jedem AT der angenommenen 5 Jahre. Jede Lastfahrt würde 18 h reine Fahrzeit flussabwärts und 43 h flussaufwärts dauern; zusätzlich dauert das Be- und Entladen je 4 h (bei 1,6 t/Mh und 2 Mitarbeitern). Ein Schiff wäre dann für eine Hin- und Rückfahrt incl. Ladevorgängen 69 h unterwegs; zusätzlich dazu sind sicherlich auch Rüst- und Wartezeiten zu berücksichtigen: bei 10% (Setzung) ergibt sich dann eine Einsatzzeit je Schiff von 76 h. Für 12 h je AT kann ein Schiff alle 7 Tage (rechnerisch 6,33 Tage) neu beladen werden (ohne Reparaturzeiten in der Werft); mindestens 35 einsatzfähige Schiffe sind dann notwendig, um die beschriebene Lieferkette realisieren zu können. Bei zusätzlichen Einschränkungen der Befahrbarkeit des Tiber würde sich diese Zahl weiter erhöhen.

²⁷⁵ Näherungswert ermittelt aus <www.google.de/maps> (06.02.2018) und 10 km Zuschlag für starkes Mäandern des Tiber

²⁷⁶ Annahme: Ein leeres Schiff kann doppelt so schnell getreidelt werden wie ein beladenes.

²⁷⁷ berechnet aus $155.300 \text{ t Ziegel ges} \rightarrow 31.060 \text{ t/a}$ (bei 5 Jahren) / $1,6 \text{ t/Mh} = 19.413 \text{ Mh/a} = 1.941 \text{ MT/a}$ bei 10 Mh/MT.

²⁷⁸ Für die von DeLaine 1992 176 angegebenen mögliche Stätten in Sabina (Bocchignano etc.) beträgt die Entfernung ca. 40 km; eine Fahrt sollte deshalb halb so lange dauern wie von Orte; d. h. $9 + 23 \text{ h} = 32 \text{ h}$.

Landtransporte

Entfernung Anlandestelle in Rom – Baustelle: ca. 2 km²⁷⁹

Karren mit 500 kg Nutzlast und 4 km/h.

62.120 Fahrten je Jahr (mit je 0,5 h Dauer reine Fahrzeit ohne Pausen): 31.060 h

62.120 Rückfahrten: 31.060 h

1.941 MT Beladen²⁸⁰ + 1.941 MT Entladen.

Für den Landtransport von der Anlandestelle zur Baustelle ist demnach je Jahr zu berücksichtigen:

62.120 h Fahrzeit bei einem Einsatz von 1 Mitarbeiter je Fahrzeug: 62.120 Mh, bzw.

6.212 MT

+ 3.882 MT für das Be- und Entladen;

Summe = 10.094 MT (entspricht 37 MT/AT bei 275 AT/Jahr)

Bei einer Transportkapazität von 6 Fahrten je Tag und Fahrzeug²⁸¹ und einer Tätigkeitszeit von 275 Tagen (falls die Landtransporte auch nur in den Zeiten der Schifftransporte durchgeführt werden) sind dazu

$62.120 / 275 \times 6 = 38$ permanent aktive Fahrzeuge notwendig.²⁸²

Für den vermutlich zu unterstellenden Fall, dass auch am Produktionsort mit einem Transport vom Lager der Ziegelei zur Anlandestelle der Schiffe zu rechnen ist, erhöht sich der Bedarf nochmals beträchtlich; so fallen auch dort alleine für das Be- und Entladen eines Transportmittels (vermutlich Karren) bereits 36.650 MT an. Auch die Anzahl benötigter Fahrzeuge würde vermutlich in dem für den Landtransport in Rom berechneten Rahmen liegen – insbesondere, wenn die Länge der Transportwege als gleich angenommen wird. Somit ergibt sich folgende Gesamtbilanz für die Transporte je Jahr bei 5 Jahren Betriebszeit:

²⁷⁹ Bukowiecki – Wulff-Rheidt 2016b, 48 und DeLaine 1992, 191 1,2 miles (1,8 km).

²⁸⁰ berechnet aus 155.300 t ges → 31.060 t/a bei 5 Jahren / 1,6 t/Mh = 19.413 Mh/a = 1.941 MT/a bei 10 Mh/MT

²⁸¹ 1 Fahrt dauert (mit Hin- und Rückfahrt) 1 h; zusätzlich fallen 0,6 h für das Be- und Entladen durch 2 Mitarbeiter an (1,6 t/Mh Be- bzw. Entladen ergeben 0,625 Mh/t; 2 Mitarbeiter benötigen demnach ca. 0,6 h für das Be- und Entladen). Bei 10 h je AT können dann $10/1,6 = 6$ Fahrten durchgeführt werden.

²⁸² Für einen Tätigkeitszeitraum von 365 Tagen (ganzjähriger täglicher Betrieb) wären es 29 Fahrzeuge.

- Transportmenge: 31.060 t Fertigware
- Anzahl Schiffsfahrten: 2.589
- Anzahl MT für Schiffstransporte incl. Be- und Entladen: 36.500;
- bei 275 AT/Jahr: 133 MT/AT
- Anzahl benötigter Schiffe: 10
- Anzahl Landtransporte Rom: 62.210
- Anzahl MT für Landtransporte Rom incl. Be- und Entladen:
- 10.150; bei 275 AT/Jahr: 37MT/AT
- Anzahl benötigter Transportwagen: 38

Mit ähnlichen Werten ist für die Landtransporte am Standort der Ziegelei zu rechnen. Vergleiche mit Werten bei DeLaine 1992, 341 (und 1997) sind nicht möglich, da dort keine MT oder Mh. sondern Preise genannt werden, die nicht in MT umgerechnet werden können: Ein Preis ist nach Gabler Wirtschaftslexikon „der in Geldeinheiten ausgedrückte Tauschwert eines Gutes.“²⁸³ Er ist außer von den Kosten von einer Vielzahl anderer Faktoren abhängig und kann nicht der Maßstab für den in der vorliegenden Arbeit analysierten Personal- und Materialaufwand sein.²⁸⁴

11.5.8 Zusammenfassung „Ziegel für Rom“

Nach der erfolgreichen Quantifizierung der Prozessketten und der Rekonstruktion von Betriebsmodellen für Ziegeleien in den NW-Provinzen zu römischer Zeit lag es nahe, vergleichbare Betrachtungen zu Ziegeleien anzustellen, in denen das keramische Baumaterial für Großbauten in Rom hergestellt wurde.

Gravierendster Unterschied ist dabei zuallererst der Schwerpunkt bei den in den Regionen verwendeten Ziegeltypen: Wurden in den NW-Provinzen hauptsächlich Dachziegel verbaut (und nur für Innenausbauten *lateres* und andere Ziegeltypen, z.B. für Hypokausten und Wandheizungen), stehen in Rom die Massen von Mauerziegeln im Vordergrund.

Die entwickelten Betriebsmodelle sind jedoch unabhängig vom Ziegeltyp anwendbar und ermöglichen auch für solche Produkte Quantifizierungen. Recherchen zu Ziegeleibefunden mit Öfen sind für den italischen Raum als Herkunftsregion für die verbauten Ziegel jedoch eher selten. Obwohl umfangreiche Studien zu den Mauerziegeln vorliegen, enthalten diese nur wenige Angaben zu konkreten Anlagen für die Ziegelherstellung.

²⁸³ Gabler Wirtschaftslexikon <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/preis-46701>> (09.05.2019).

²⁸⁴ „Preisbildungsformen“, d. h. Mechanismen und Faktoren bei der Entstehung von Preisen siehe <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/preisbildungsmodelle-43058>> (09.05.2019); z. B. in einem Monopol (staatlich, wie bei Edikten) oder als Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage in einer vollkommenen Konkurrenz (Polypol)

Vielmehr werden Berichte und Analysen zu Ziegelstempeln und zu deren Aussagefähigkeit bezüglich Ziegelei- und Ziegelfabrikantennamen vorgelegt. Quellen zu diesen Aussagen sind oft Surveys und keine Berichte zu Grabungen. Die zur Verfügung stehenden Angaben zu Öfen als das relevante Charakteristikum einer Ziegelei für das Erstellen von Betriebsmodellen zeigen dort jedoch, dass, von sehr wenigen Einzelfällen abgesehen, regionenübergreifend Öfen gleichen Typs und Brennkammergröße wie im Nordwesten auch bei den „Ziegeln für Rom“ und darüber hinaus an anderen italischen Orten in dieser Zeit eingesetzt wurden. Außerdem sind Standorte bzw. Regionen der Ziegelherstellung bekannt, die Betrachtungen zu Transporten ermöglichen. Berechnungen zur Gewinnung des Brennmaterials Holz konnten angestellt werden, da im Apennin Buchenwälder, ähnlich denen in den NW-Provinzen, angenommen werden können.

Im Gegensatz zu den Betrachtungen im Nordwesten wurden keine Berechnungen zu einzelnen vorhandenen Ziegeleien und deren Öfen angestellt, sondern der Bedarf an Ziegeleien und der benötigten Ressourcen in der Region der bekannten Ziegeleistandorte für die Herstellung der in römischen Großbauten verbauten Ziegel ermittelt.

Beispielhaft wurden berechnet, wie viele Öfen, wie viel Lehm, MT etc. für den Bau der in ca. 5 Jahren errichteten Caracalla-Thermen unter optimalen Bedingungen benötigt wurden. Dabei wurden 77.650 m³ Lehm verarbeitet.

92 permanent während 130 Tagen je Jahr arbeitende Öfen waren dazu notwendig, in denen

- 30.000 t Holz (Scheitholz und Reisig) verbrannt wurden.
- 1,4 Mio MT fielen insgesamt in den Ziegeleibetrieben, beim Lehmbau und der Brennmaterialgewinnung an; davon
- ca. 1.300 MT je AT in den Ziegeleien;²⁸⁵
- 18 MT je AT für den Lehmbau und
- 135 MT je AT zur Brennmaterialgewinnung.²⁸⁶
- 133 MT je AT können für den Schiffstransport ex oberem Tibertal veranschlagt werden;²⁸⁷ mindestens 35 Schiffe mit je 2 Mitarbeitern waren nötig.

Nachfolgende Abb. 29 zeigt die Relationen beim Personalbedarf je Jahr für die einzelnen Aktivitäten.

²⁸⁵ Aussagen, in welchem Umfang die Öfen in Clustern innerhalb einer Ziegelei oder unter dem Namen einzelner *figlinae*-Besitzer zusammengefasst werden können, sind wegen fehlender Befundbeschreibungen hierzu noch ein Desiderat.

²⁸⁶ für beide angenommenen 350 AT/a.

²⁸⁷ bei 275 AT/a.

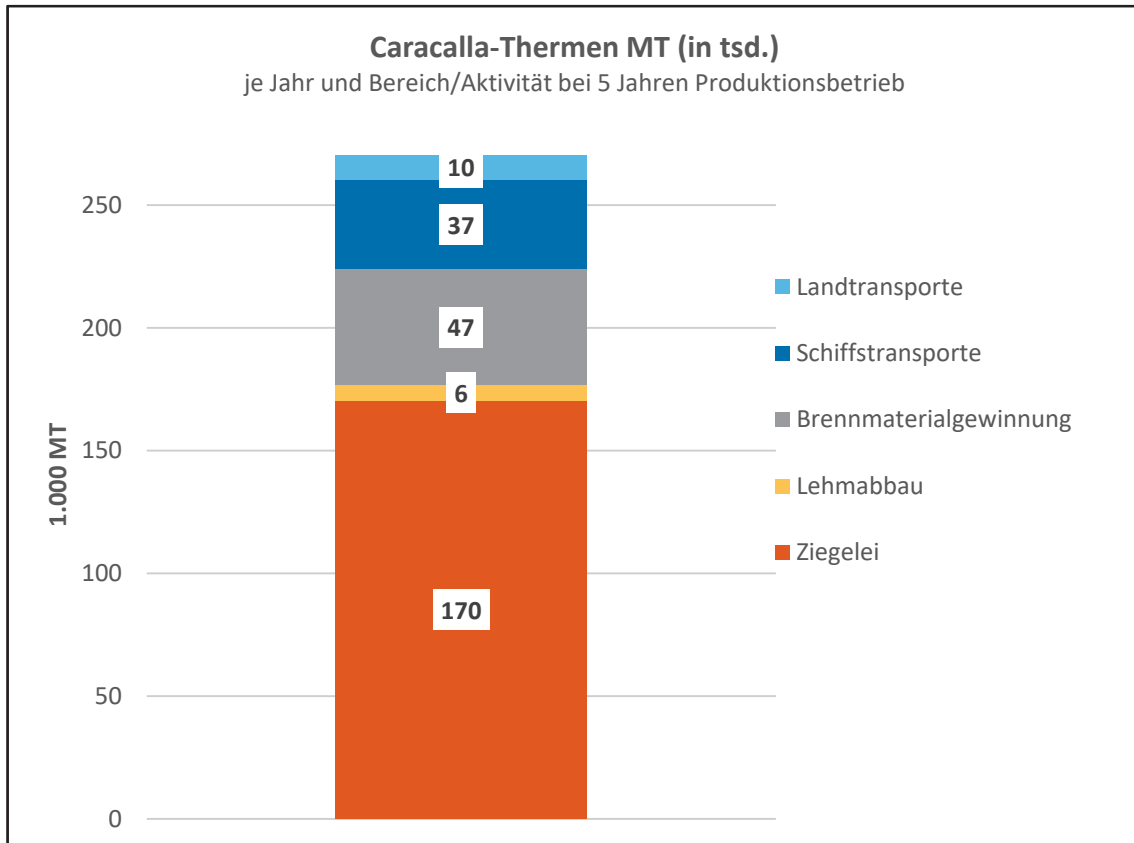


Abbildung 29 Anteile der Aktivitäten am jährlichen Personalbedarf für die Ziegelherstellung für die Caracalla-Thermen²⁸⁸

²⁸⁸ ohne Lehm- und Brennmaterialtransporte.

12 Zusammenfassung

„Eine Rekonstruktion ist das Darstellen, Wiedergeben von etwas Geschehenem in den Einzelheiten seines Ablaufs.“²⁸⁹

In diesem Sinne wurde in einer wirtschaftsarchäologischen Studie versucht, antike Produktionsprozesse zu analysieren und zu quantifizieren. Damit sollte es möglich gemacht werden, für archäologische Befunde zugehörige Modelle des lokalen Wirtschaftens zu beschreiben und abzubilden.

Ausgangspunkt ist dabei die Kenntnis von Produkten, Produktionsanlagen und der zugehörigen Herstellungsweisen. Während archäologische Befunde Informationen zu Produkten und Produktionsanlagen liefern können, sind zu den Herstellungsweisen meist keine detaillierten Informationen vorhanden. Hier können Vergleiche mit neuzeitlichen Verfahren und experimentelle Versuche verwertbare Aussagen liefern. Dazu ist es jedoch notwendig, dass die jeweils angewandte Technologie sowie die zugehörigen Abläufe einschließlich der zugehörigen Einzelaktivitäten bekannt, rekonstruier- und quantifizierbar sind. Das Berechnen, welche Produktionskapazitäten eine Anlage gehabt haben kann, wie viele Menschen als Arbeitskräfte mindestens nötig waren und welche Mengen an Ressourcen benötigt wurden, gelingt dabei umso besser, je geringer die Produktvielfalt an einem Produktionsort gewesen ist; je einfacher ein Produktspektrum und je weniger komplex die Produktionsanlagen, desto präziser und eindeutiger die Ergebnisse. Da es sich bei der vorliegenden Studie um einen neuartigen Versuch mit interdisziplinärem Ansatz handelt, wurde deshalb zunächst nach Branchen gesucht, bei denen dies besonders ausgeprägt gegeben ist. Dazu wurden die möglichen Branchen schematisch daraufhin überprüft, ob die Technologie sowie die Abläufe und die Einzelaktivitäten bekannt und rekonstruierbar waren. Außerdem sollten ausreichend archäologische Befunde und Experimente bekannt sein. Eine Analyse der in Frage kommenden Branchen der Produktionswirtschaft in der Antike ergab dafür als geeigneten Bereich die Ziegelherstellung in den NW-Provinzen des römischen Reiches.

Die Analyse der Prozessketten bei der Ziegelherstellung und der darin verknüpften Einzelaktivitäten zeigte detaillierte Quantifizierbarkeiten, sowohl bei den eingesetzten Mengen, den technischen Anlagen – hier insbesondere bei Art und Größe der verwendeten Öfen und ihrer Kapazitäten – den Zeitwerten für die einzelnen Tätigkeiten, und daraus resultierend die möglichen Kapazitäten einzelner Anlagen. Wesentliche Daten- und Informationslieferanten waren Experimente mit römischen Öfen, Fertigungszeiten aus realen Herstellungen nach antiker Methodik, verfahrenstechnische und thermodynamische

²⁸⁹ <www.duden.de> (16.02.2018): „in der Archäologie wird der Begriff meist im Sinne einer Wiederherstellung, Nachbildung baulicher Gegenständlichkeit verwendet“; in der vorliegenden Arbeit ergänzen sich beide Definitionen, da sowohl bauliche als auch organisatorische Aspekte antiker Produktionsbetriebe in enger Verknüpfung betrachtet werden.

Betrachtungen zum Brennprozess, aber auch ergänzende Annahmen und Plausibilitätsbetrachtungen.

Insgesamt ist dabei eine Möglichkeit zur Abbildung des Betriebsgeschehens für Fundorte mit Ziegelöfen entstanden. Das Modell ist als „open source“-Ansatz ausgebildet: Einzeldaten, Zusammenhänge etc. sind in einer Form beschrieben und in ihrer Herleitung transparent gemacht, dass Anpassungen an neuere, andere Einzelheiten leicht möglich sind.

Für die Region der NW-Provinzen des römischen Reiches konnten Befunde zu 112 Ziegelbrennöfen ausgewertet werden. Dabei betrug die Brennkammerfläche bei den weitestmeisten Öfen (75 %) zwischen 5 und 20 m². Als technologisch sinnvolle Höhe wurde aus Versuchen ein Wert von 2 m hergeleitet. Damit ergibt sich ein Brennkammervolumen von 10 – 40 m³. Typische baukeramische Produkte in der Region, die in diesen Öfen gebrannt wurden, sind *tegulae*, *imbrices* und *lateres*. Die zugehörigen Abmessungen dieser Ziegel stammen aus Befunden der Ziegelei in Dormagen und orientieren sich an den Standardwerten dieser Bauteile im römischen Reich. Für diese Produkte konnten aus Versuchen, Schätzungen und mit thermodynamischen Betrachtungen Bearbeitungszeiten für das Formen, Trocknen, Brennen etc. ermittelt werden. Damit war es möglich, Zeiten, Mengen, Personal- und Brennmaterialbedarf sowohl für einzelne Chargen in Brennöfen verschiedener Brennkammergrößen, als auch über die Dauer einer Brennseason von Mitte April bis Ende Oktober, als Jahresleistungen, zu ermitteln. Ofentyp war dabei der Schachtofen mit rechteckiger Brennkammerfläche und einem Heizkanal in der Mitte unterhalb des Brennkammerbodens.

Für die Ziegelei in Dormagen ergab sich so beispielsweise für einen Ofen mit 26 m³ Brennkammervolumen ein Mindestpersonalbedarf von 14 Manntagen je Arbeitstag an 130 Tagen. Zusätzlich fallen noch an 38 Tagen die Vorarbeiten mit geringerem Personalbedarf für die erste Charge an, die hier vernachlässigt wurden. Während einer Saison konnten so 169 m³ Lehm verarbeitet werden. Abbau und Antransport des eingesetzten Lehms sind dabei noch nicht berücksichtigt; ebenso wenig die Gewinnung und der Antransport des Brennmaterials und der Abtransport der Fertigware. Hierfür wurden separate Berechnungen angestellt. Dazu wurden die zugehörigen Prozessketten dieser Leistungen ebenfalls einer Strukturierung, Analyse und Quantifizierung zugeführt. Während für den Lehmabbau auf Tabellenwerte für das Graben von Hand zurückgegriffen werden konnte und für die Transporte für die verschiedenen Transportarten Maximallasten und Transportgeschwindigkeiten verfügbar waren, gestalteten sich die Betrachtungen zum Brennmaterial komplizierter: selbst wenn von der berechtigten Annahme ausgegangen werden kann, dass bevorzugt Holz als Brennmaterial eingesetzt wurde, liegen trotzdem keine Angaben über Waldbestände und Details zur Holzgewinnung in quantifizierter Form vor. Deshalb wurde hier von einem Modell ausgegangen, das Orientierungsgrößen für die erheblichen Aufwendungen bei der Brennmaterialgewinnung und den Verbrauch an Waldfläche bietet. So wurden drei verschiedene Bestände an Waldflächen beschrieben, hinsichtlich ihres Holzvorrates quantifiziert und mit einem heute noch bestehenden, seit

Jahrhunderten naturbelassenen Waldgebiet abgeglichen, um eine Verknüpfung zu möglichen Wäldern in römischer Zeit herzustellen. Diesen Beständen wurden die ermittelten Bedarfe für das Brennmaterial gegenübergestellt. So konnten Aussagen zum Umfang von eventuell erfolgten Flächenrodungen gewonnen werden. Außerdem wurden die Arbeiten ermittelt und quantifiziert, die mindestens notwendig sind, um Bäume aus diesen Beständen mit der Axt in das benötigte Scheitholz und Reisig aufzuarbeiten. Der so ermittelte Personalbedarf ergab sich zu mindestens 30% der in der Ziegelei benötigten Mitarbeiter.

So entstand insgesamt ein umfassendes, quantifiziertes Modell für das Ziegelbrennen mit Schachtöfen für die NW-Provinzen des römischen Reiches, das flexibel für verschiedene große Brennöfen in lokalen Befunden angewendet werden kann.

Auffallend ist bei der Ziegelherstellung, dass der größte Teil des benötigten Personals kein spezielles Knowhow zu benötigen scheint; lediglich die Former, die auch für die Aufbereitung des Lehms zuständig sind und die Brenner müssen vom Fach und erfahren sein; die in größerem Umfang benötigten Zuarbeiter jedoch nicht. Somit erscheint das Ziegeleigewerbe angesichts der bei dieser Personalkonstellation absehbaren geringen Herstellkosten als sehr einträgliche Branche.

In Erweiterung der Betrachtungen wurde versucht, die Verhältnisse bei den in wesentlich größerem Umfang eingesetzten Ziegeln für das Errichten von Bauten in Rom ebenfalls zu rekonstruieren. Dabei war auffallend, dass nur relativ wenige Informationen zu den dortigen Brennöfen vorliegen. Gleichwohl machen die verfügbaren Quellen den Einsatz von Schachtöfen des in den NW-Provinzen vorgefundenen Typs sehr wahrscheinlich. Da außerdem wegen der Normung der Baukeramik in römischer Zeit die Produkttypen vergleichbar sind, können die Rekonstruktionen für die NW-Provinzen auf die Ziegelproduktion für Rom übertragen werden. Die Einfachheit und Eindeutigkeit des Prozesses und der Aktivitäten lassen für Italien keine relevanten Abweichungen erwarten. Auf dieser Grundlage konnten für die im Bau der Caracalla-Thermen verarbeiteten Ziegel Berechnungen zu den Produktionsanlagen vorgenommen werden: bei einer 5 Jahre dauernden Produktionszeit waren für die benötigte Ziegelmenge ca. 92 parallel zu betrie-bende Öfen notwendig; in den zugehörigen Ziegeleien fielen ca. 1.300 MT je AT an, sowie zusätzlich 18 MT je AT für den Lehmabbau und 135 MT je AT für die Brennmaterialgewinnung (bei jeweils 350 AT/a) an. 133 MT je AT wurden für Transporte der Produkte per Schiff auf dem Tiber ermittelt; mindestens 35 Schiffe waren dabei einzusetzen. Für die Landtransporte von der Anlandestelle zur Baustelle in Rom sind weitere 37 MT/AT zu veranschlagen. Bei den MT/AT-Angaben wurden dabei für einzelne Aktivitäten unterschiedliche Werte für die Anzahl AT je Jahr berücksichtigt, wie sie bei Saisonarbeiten (Ziegelherstellung nur in den Sommermonaten und Brennmaterialgewinnung in Herbst und Winter) anzunehmen sind.

Die hier vorgestellte/erarbeitete Rekonstruktion von Betriebsmodellen unter Verwendung von Prozesskettenanalysen für Ziegeleien und der benachbarten Prozesse für die

Brennmaterialgewinnung und die Transporte konnte somit nicht nur für die NW-Provinzen, sondern auch für die Herstellung von Ziegeln für Bauten in Rom einen geeigneten Beitrag zur Quantifizierung des lokalen Wirtschaftsgeschehens liefern.

Auf der Grundlage dieser erfolgreich angewendeten Methodik sollten auch für andere Branchen ähnliche Betriebsmodelle für antike Produktionsbetriebe herleitbar sein.

Die Tatsache, dass bei den Modellen einige Werte als Annahme eingesetzt werden mussten, schmälert nicht deren Aussagekraft; einerseits erforderte die Qualität der historischen Berichterstattung dieses Vorgehen, andererseits liegen die gewählten Angaben in als plausibel eingeschätzten Bereichen und sind wegen der Transparenz der Modelllandschaft für weitere Studien oder Simulationen leicht änderbar. Ergebnisse und Zusammenhänge der vorliegenden Arbeit liefern dazu die Referenzplattform.

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, Beschlüge, 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 Lehmbabbauen 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 Lehmabbauen 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 Sumpfgarbe 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

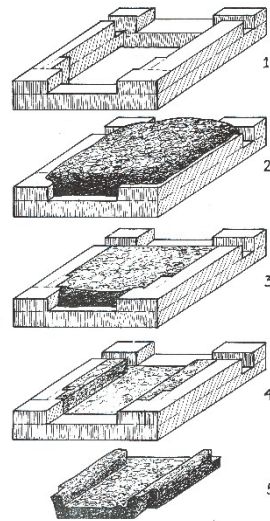


Abbildung 30 Herstellen einer *tegula* mit Drahtschnitt
(Rook 1979)

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.““

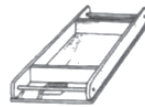
8. Mark with signature
9. Spronge tile down
10. Shift tile on its baseboard to drying areas
11. Lift mould vertically off tile.“

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.“

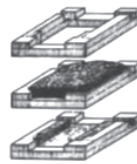
Außerdem werden Hampe – Winter 1965, 28 zur Herstellung von Wölbziegeln zitiert: „Auf dem Werkstisch liegt ein großer Holzrahmen auf einer trockenen Tonmehlstreue, um nicht am Tisch zu kleben. Diesen Rahmen füllt der Ziegler mit einem Tonbrei und streicht ihn mit tiefend nassen Händen glatt. Dann hebt 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

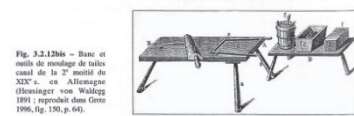


Fig. 3.2.12bis – Banc et outils de moulage de tuiles enfilé de la 2^e moitié du XIX^e s. en Allemagne (Horninger von Wallegg 1891 ; reproduit dans Goss 1996, fig. 150, p. 64).

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.

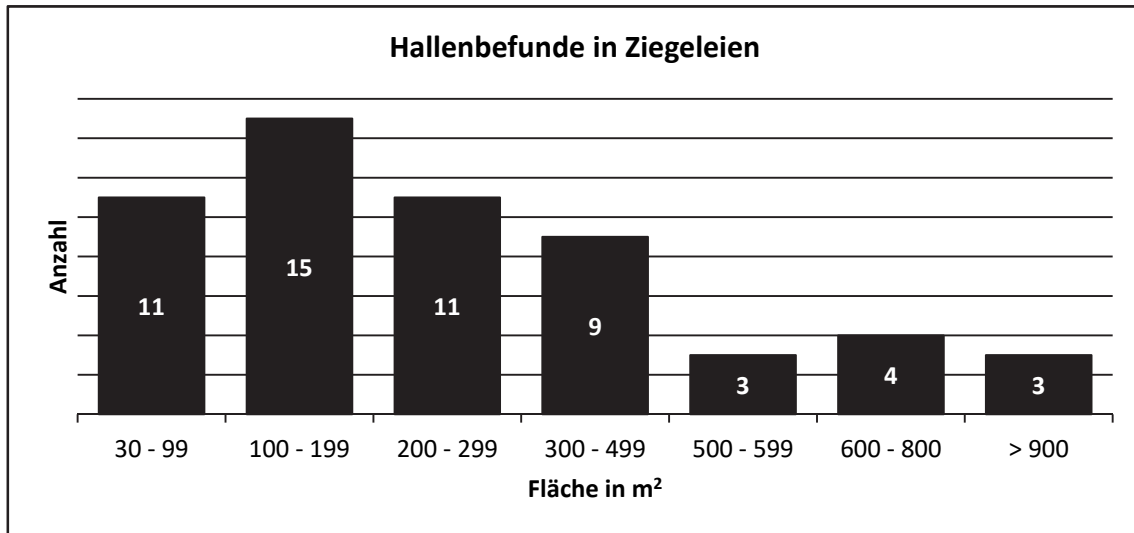


Abbildung 35 Hallen in Gallien und Germanien

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

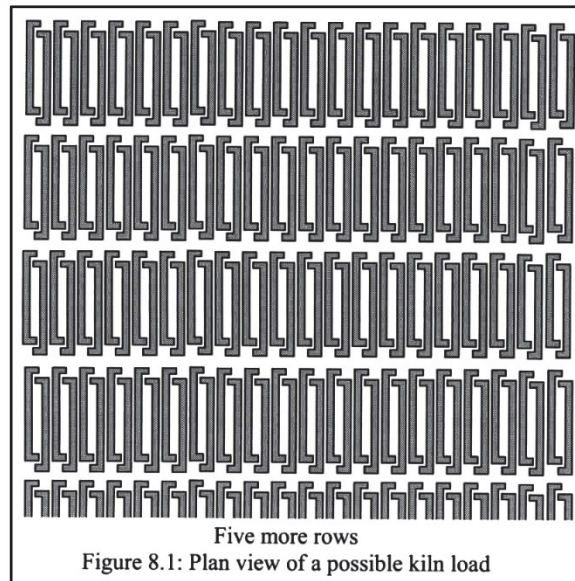


Abbildung 36 Möglichkeit zur Anordnung von tegulae in Brennöfen (Warry 2006)

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

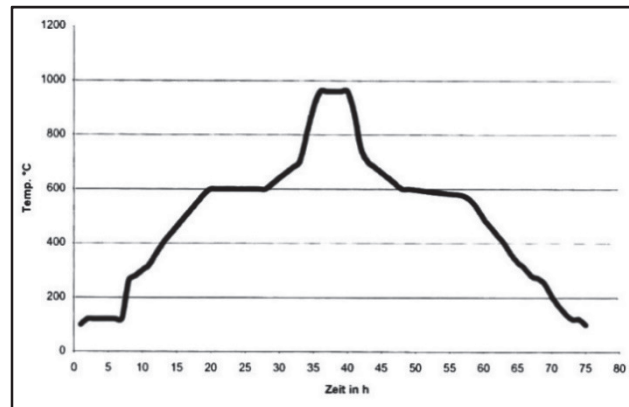


Abbildung 38 Ziegelbrennofen Flintsbach, Lkr. Deggendorf, Brennkurve (Federhofer 2007)

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.:

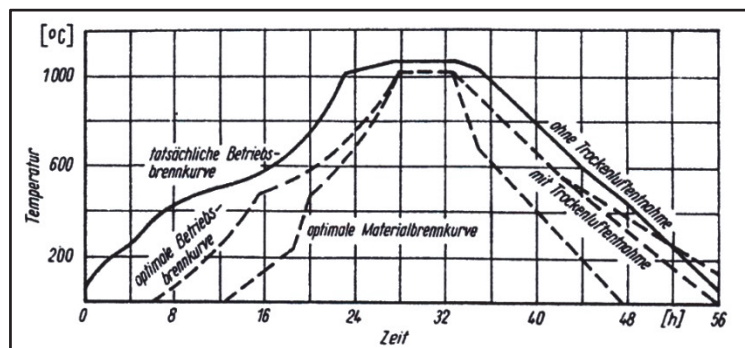


Abbildung 39 Brennkurven (Bender 2008)

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

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

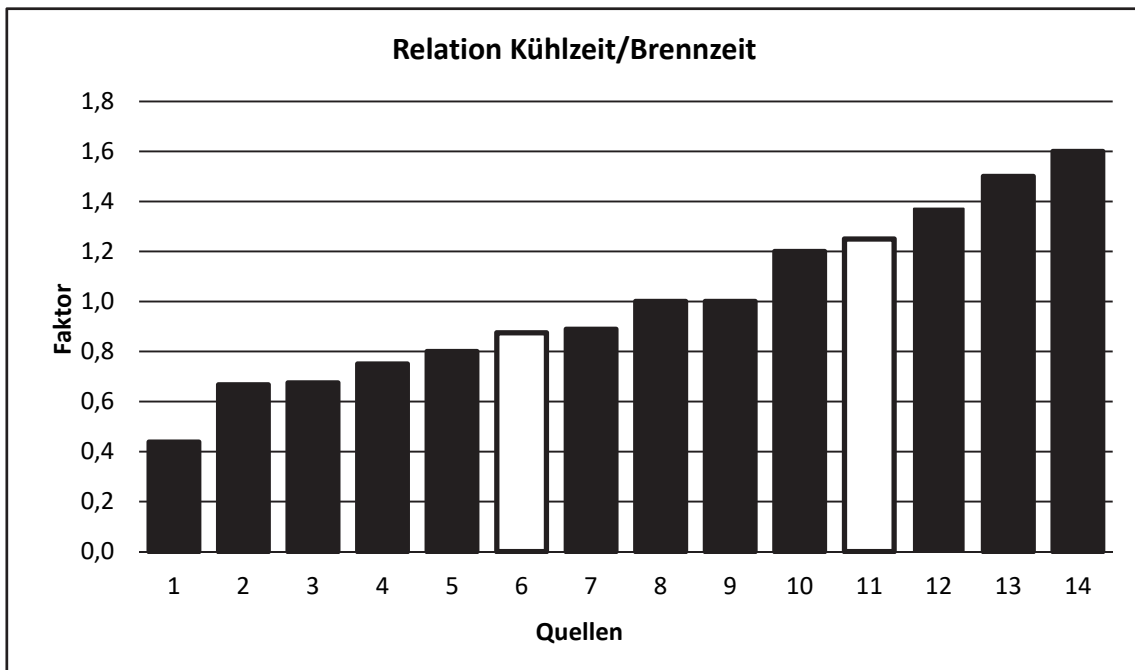


Abbildung 40 Brennkurve Zeit: Relation Kühlzeit zu Brennzeit

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

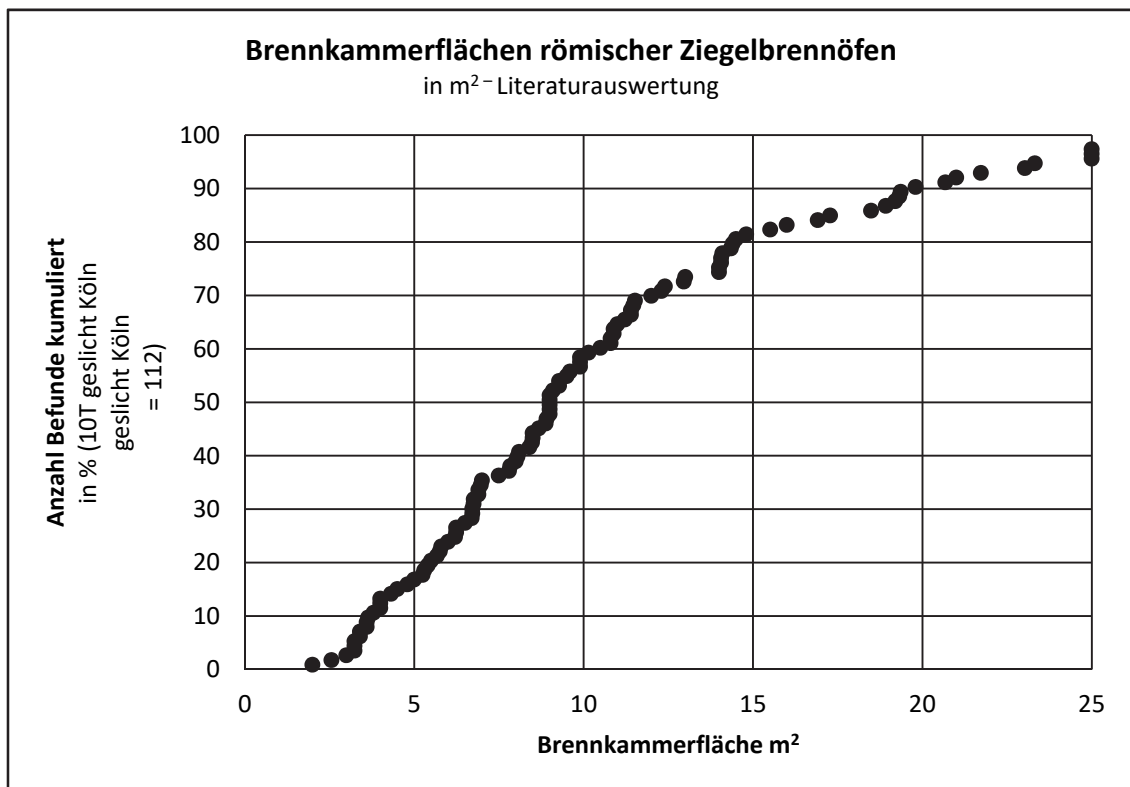


Abbildung 41 Brennkammerflächen aus 112 Befunden römischer Öfen

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:

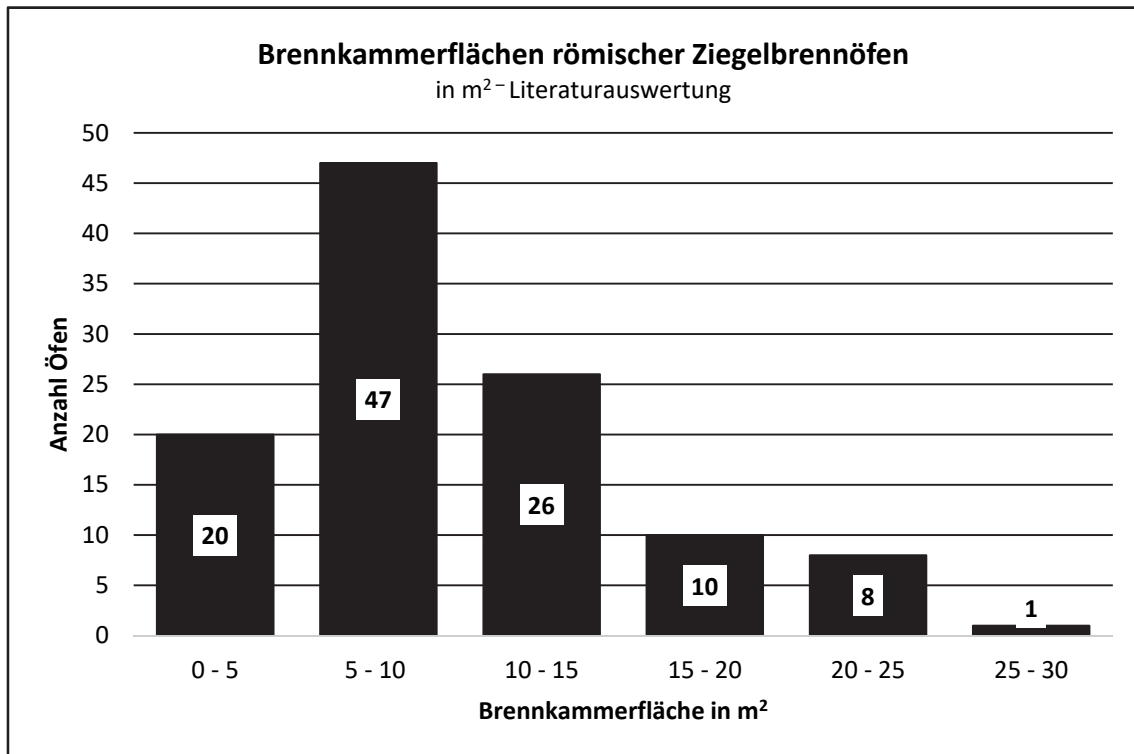


Abbildung 42 Brennkammerflächen aus 112 Befunden römischer Öfen

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.

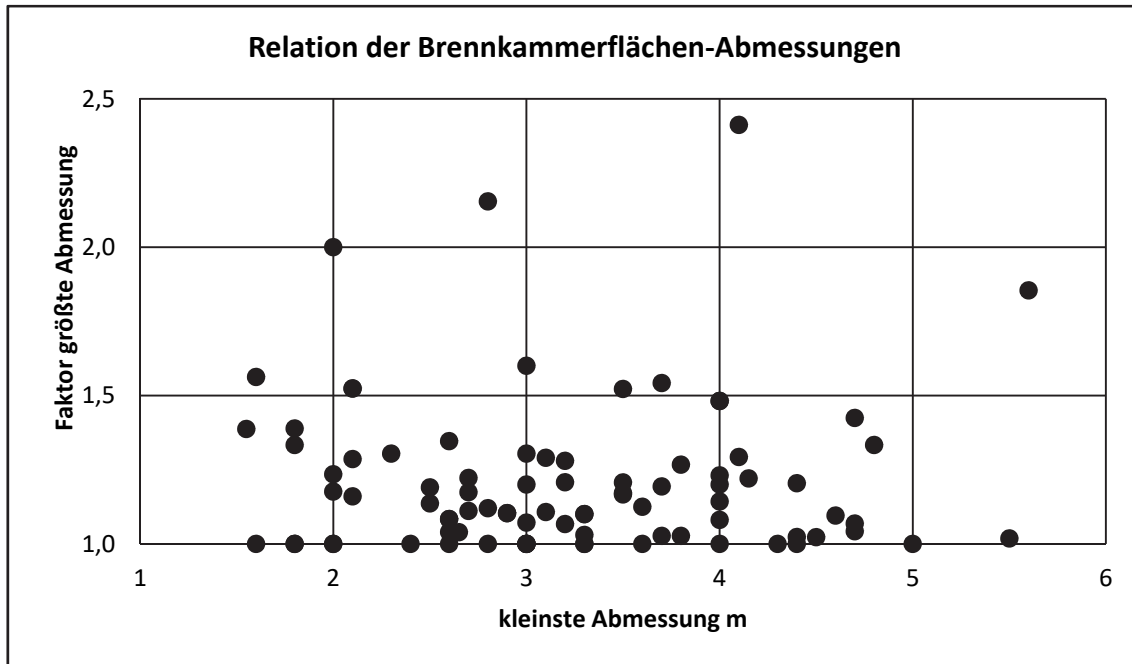


Abbildung 43 Relation der Brennkammerflächen-Abmessungen

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 Leitl-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 1m 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

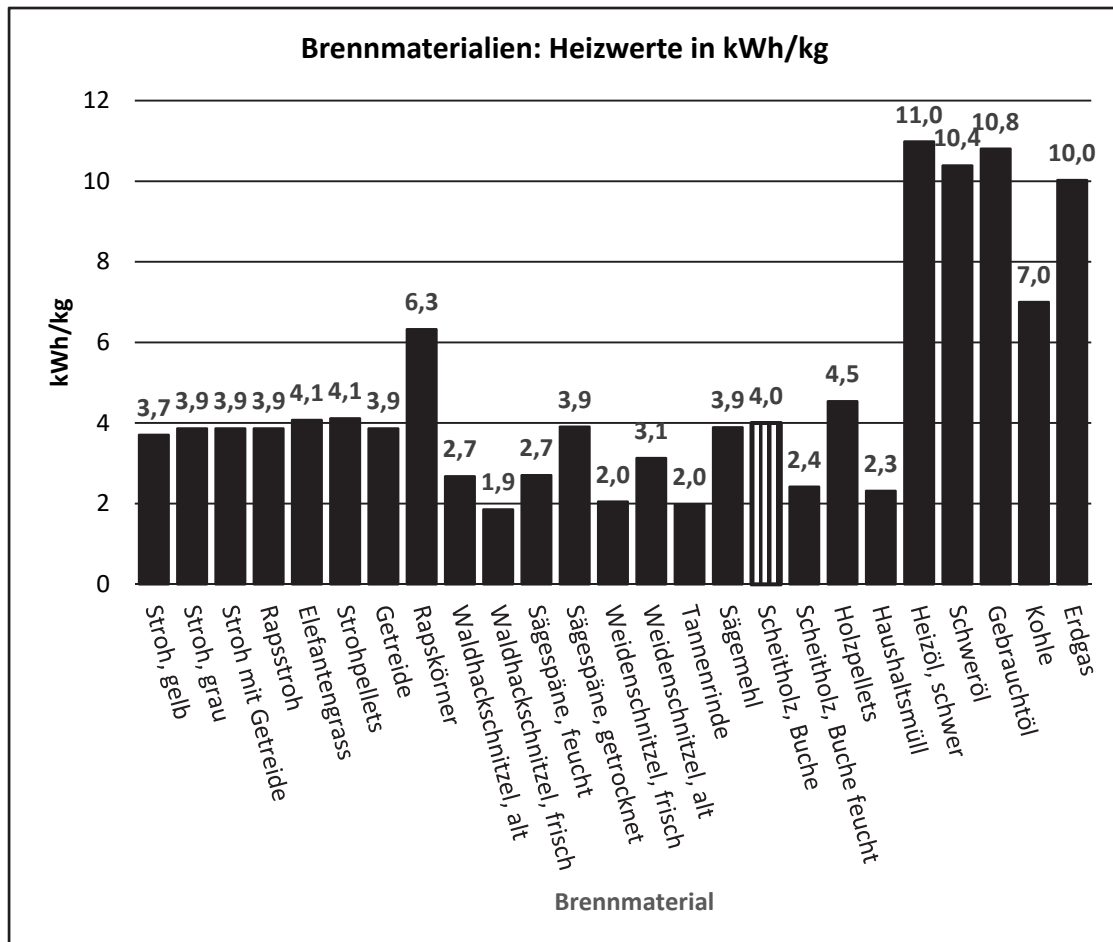


Abbildung 44 Heizwerte verschiedener Brennmaterialien³²⁰

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. Kaltschmitt – 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):

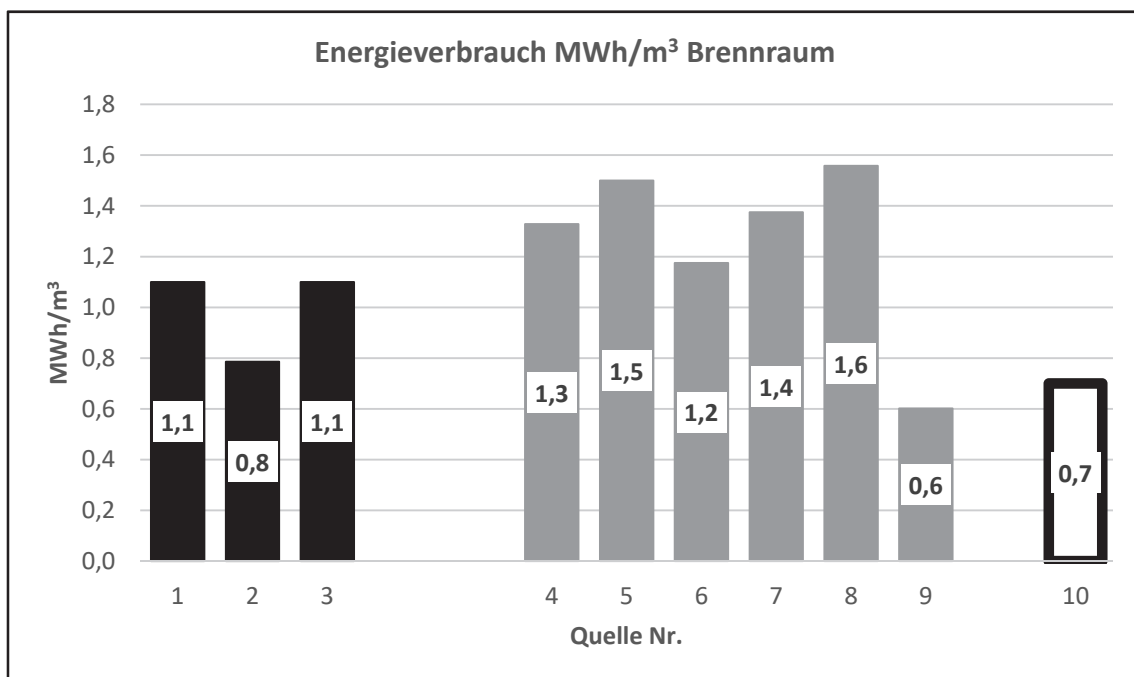


Abbildung 45 Energieverbrauch MWh/m³ Brennkammer

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 Schachtofen anzusetzen.³³⁹ Auffällig ist, dass auch bei den modereren 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 Ziegeleimannschaften (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:

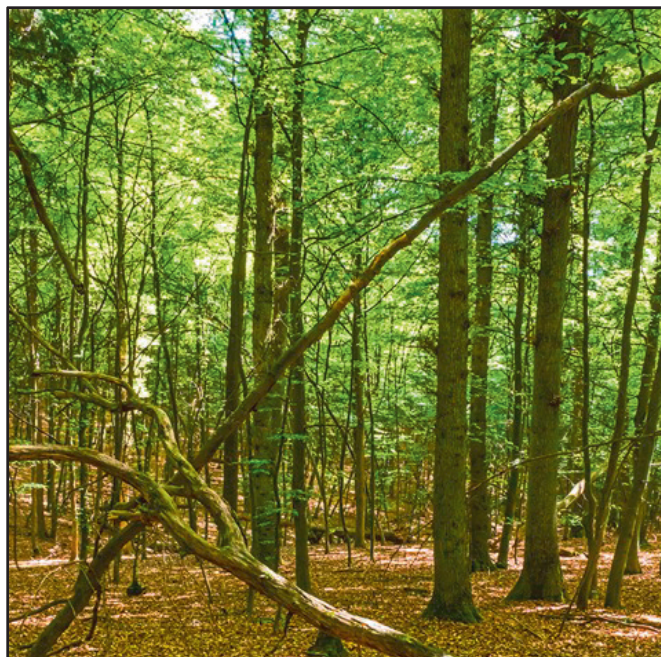


Abbildung 46 Bestand in Hümmel³⁴⁴

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



Abbildung 47 Bestand in Bialowieza (Urwald)³⁴⁵



Abbildung 48 Bestand in Hümmel



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.

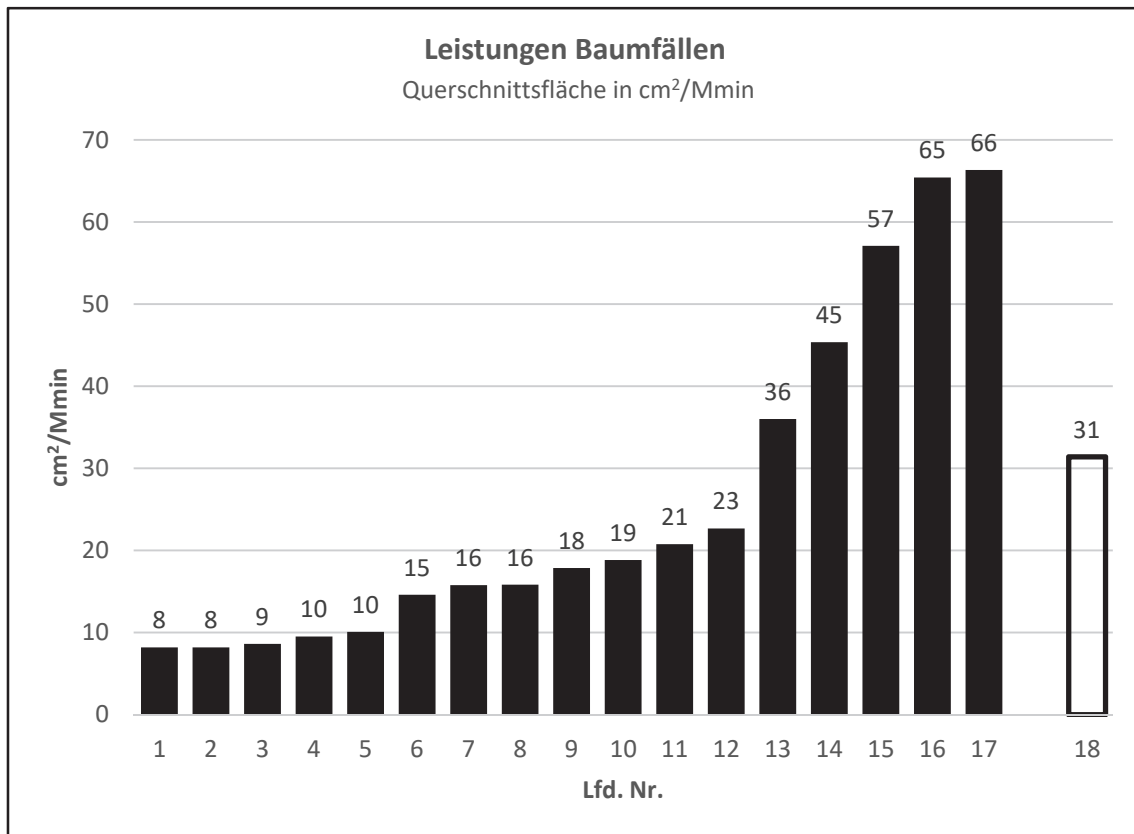


Abbildung 50 Auswertung Kölner Tableau

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									
		Bestand 1	Teil von Bestand 3		Bestand 2 ohne Spalten in Scheite	B 2 mit Spalten in Scheite	"Referenzbaum"	vom Referenzbaum abgeleitet	
									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/pf/rechner05.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 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:

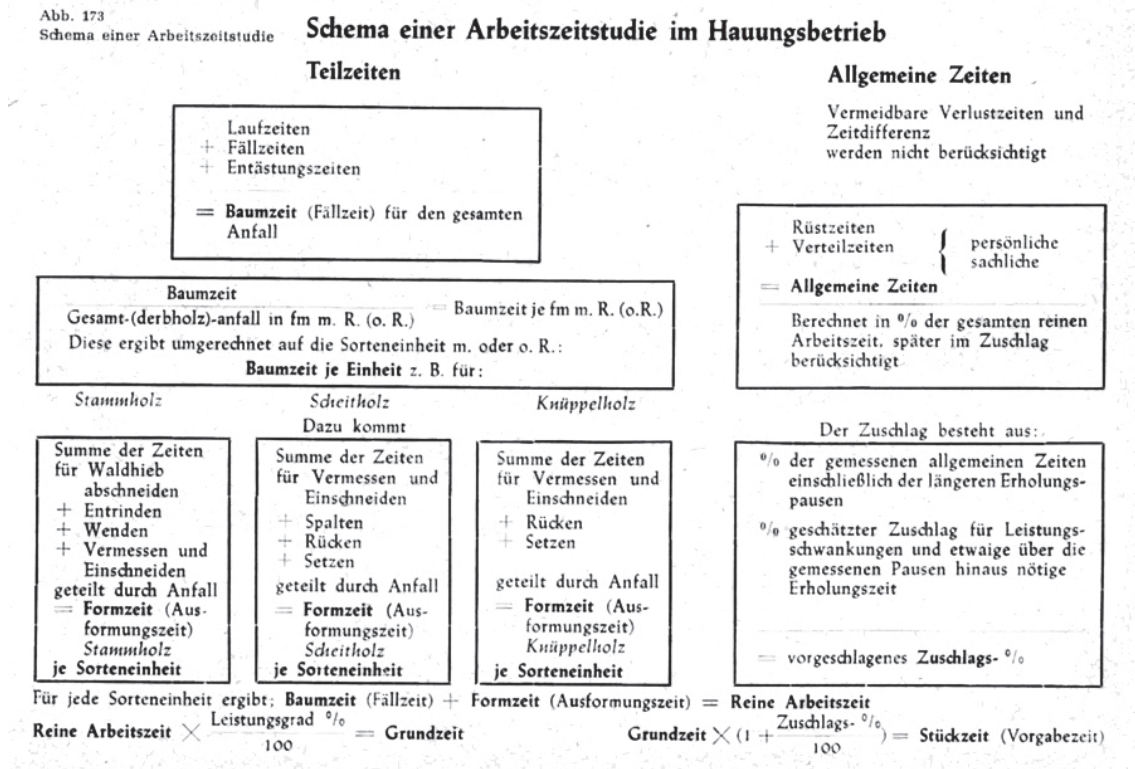


Abbildung 52 Schema einer Arbeitszeitstudie (Gläser 1960)

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 Hack-schnitzel 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 4rädrieger 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.

4rädriq Ochsén

- 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 Ochsén
 b) 3 km/h
 c) daraus berechnet VL= 2,25 t*km/h
- a) kleine Ochsénkarre: 500 kg 4 Ochsén
 b) 3 km/h
 c) daraus berechnet VL= 1,5 t*km/h

2rädriq 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

4rädriq 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</u> , <u>43 km/Tag</u> <u>Pferd und Karren</u> modernes Halfter, Trab <u>7,9 km/h</u> , <u>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</u> ; <u>„mule“ 36 km</u> , <u>„small-cart“ 40 km</u> , <u>„large-cart“ 36 km</u> , <u>„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 Ochsesgespann 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:

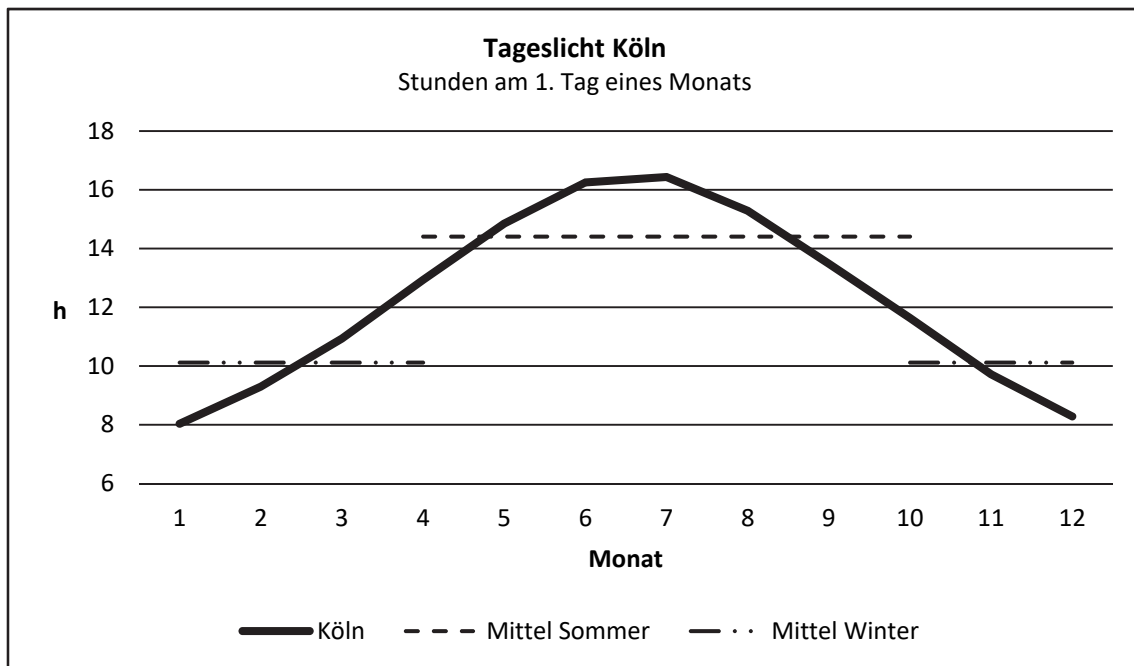


Abbildung 53 Dauer Tageslicht in Köln

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 $\frac{1}{2}$, 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

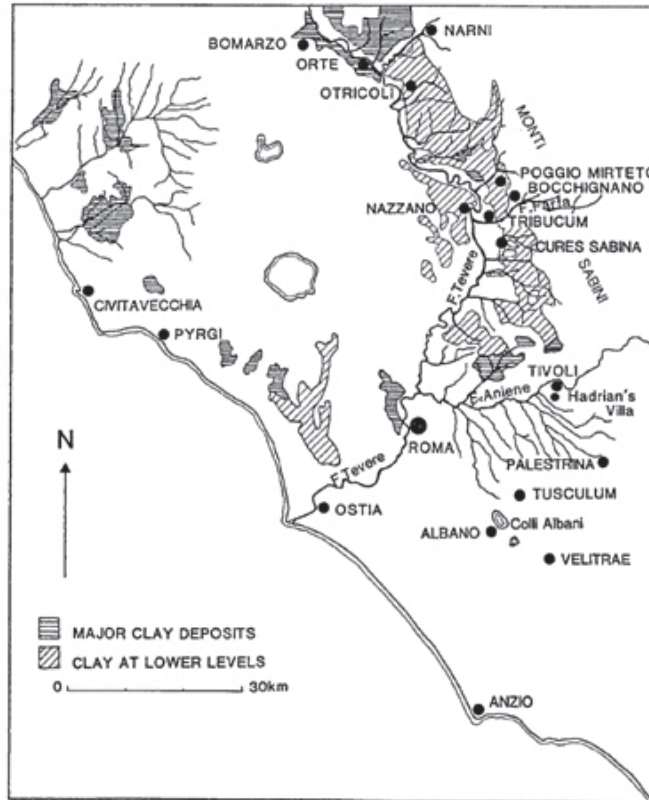


Abbildung 54 Lehmvorkommen in Rom und Zentralitalien (DeLaine 1992)

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

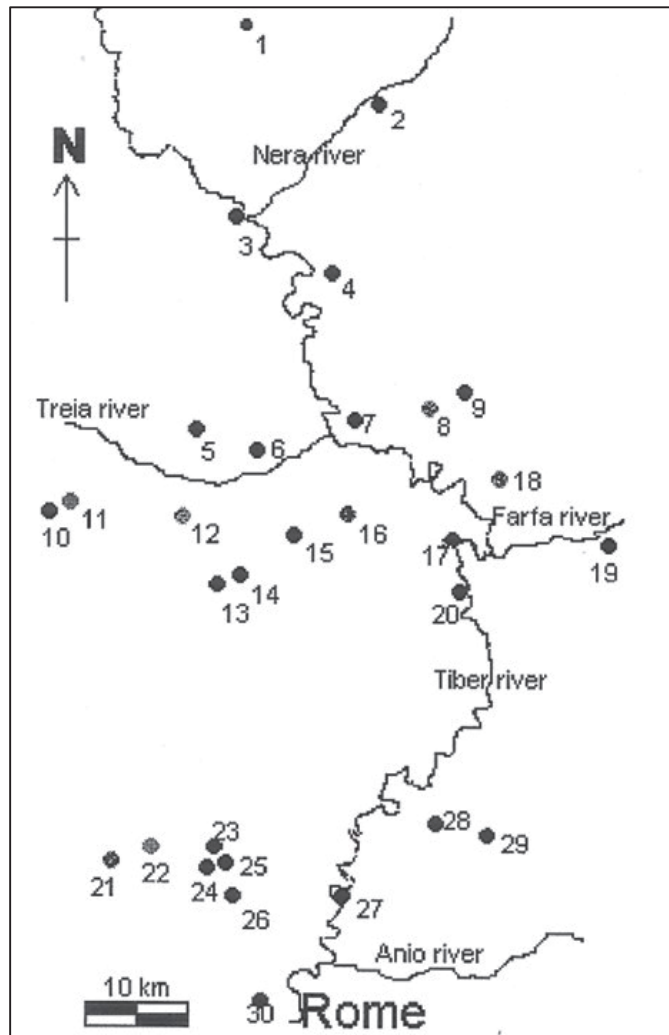


Abbildung 55 Zentren der Keramikproduktion (Ferdiere 2012)

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 Nouvo 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

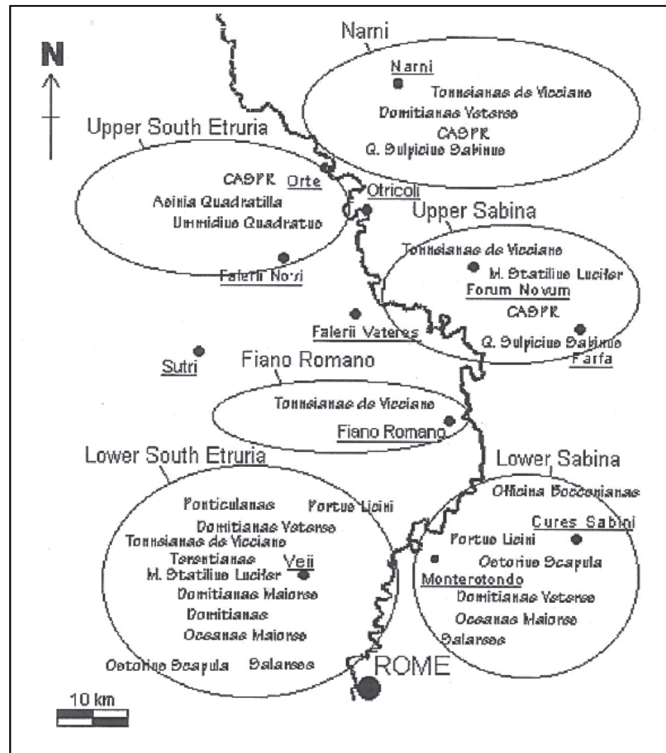


Abbildung 56 Zentren der Keramikproduktion (Ferdieri 2012)

Bukowiecki – Wulff-
Rheidt 2016a, 28

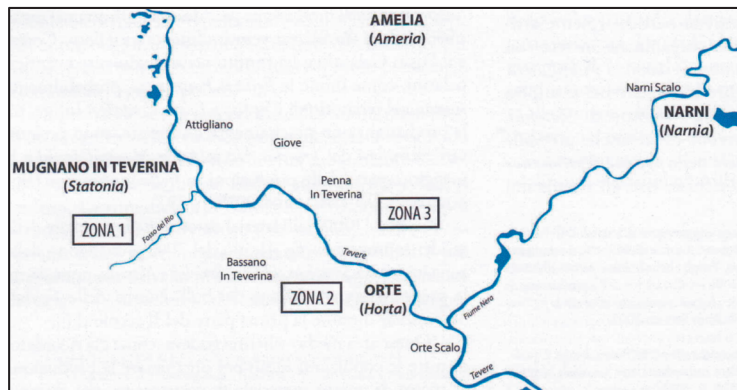


Abbildung 57 Lage der wichtigsten Ziegelproduktionsgebiete im mittleren Tibertal (Bukowiecki – Wulff-Rheidt 2016a)

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.

Diese Quellen sind vorwiegend für Berechnungen zu Transporten verwendbar; Angaben zu Öfen sind nicht verfügbar.

2. Angaben zu Regionen und Standorten und zu Öfen

Masseria 1982–1983, 30, 33 Für den ca. 185 km nördlich von Rom in Valfabbrica am Chiascio (einem Nebenfluss des Tiber) gelegenen Fundort wird ein Brennofen vom Typ IIb mit einer Brennkammerfläche von $2,76 \times 2,82 \text{ m}$ ($= 7,8 \text{ m}^2$) beschrieben. Die Datierung nennt das 1. Jh. AD.

Bei 2 m Brennkammerhöhe ergäbe sich ein Brennkammervolumen von ca. 16 m^3 – ein Wert, der den in den NW-Provinzen betrachteten Öfen entspricht.

Petracca – Vigna
1985, 132 f

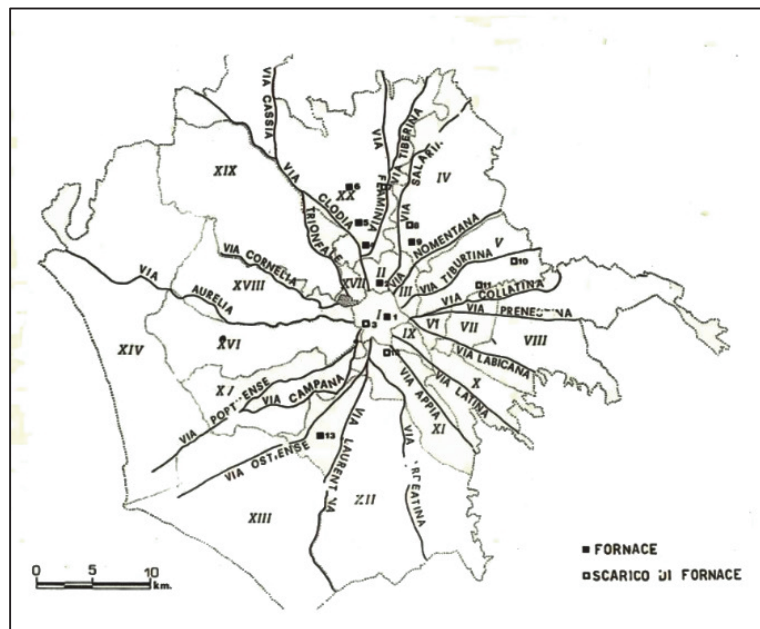


Abbildung 58 Karte der Verteilung der Öfen bzw. von Ofenfüllungen (Petracca – Vigna 1985)

1. Angolo via dello Statuto – via Merulana; 2 Angolo Sud-Ovest delle vie Isonzo e Tevere; 3. Via XX Aprile; 4. Ippodromo di Tor di Quinto; 5. Casale Ghella (via Cassia); 6 Ospedaletto Annunziata (via Veientana); 7. Via Flaminia, km 12,800; 8. Tenuta Castel Giubileo, agro fidenate; 9 Via delle Vigne Nuove; 10. Collatia (loc. Case Rosse); 11. Collatia (loc. Cervelletta); 12. Via Appia; 13. Torino Sud (Laurentina).

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

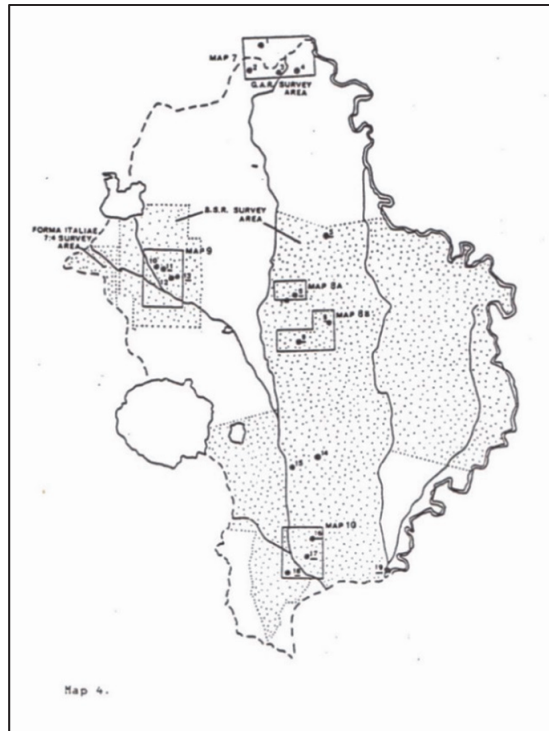


Abbildung 59 Survey area (Peña 1987)

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 Brennflächen 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.

14 Abkürzungen – Begriffe – Einheiten

Abkürzungen zu Literaturquellen

<i>aA</i>	antike Angabe
<i>aB</i>	archäologischer Bericht
<i>nH</i>	neuzeitliches Handbuch (oder neuzeitlicher Bericht)
<i>gB</i>	geschichtliche Betrachtung
<i>eA</i>	experimentelle Archäologie
<i>AS</i>	Annahme/Setzung
<i>MS</i>	Modelle/Studien
<i>Z</i>	Zitat

Arbeit⁴³⁰

<i>AT</i>	Arbeitstag ⁴³¹
<i>l/Mh – m³/Mh</i>	be-/verarbeitete Menge (in Litern oder m ³) je Mh
<i>Mh</i>	Mannstunde
<i>MJ</i>	Mannjahr
<i>Msec</i>	Mannsekunde
<i>MT</i>	Manntag
<i>Mh/fm</i>	Arbeit je fm
<i>Msec/Stück etc.</i>	Arbeit je Stück in Sekunden/Minuten/Stunden/Tag
<i>MT/AT</i>	Arbeit je Arbeitstag

Holzwirtschaft

<i>BHD</i>	„Mit Brusthöhendurchmesser (BHD) wird der Durchmesser eines stehenden Baumstammes in der Brusthöhe von 1,30 m bezeichnet.“ ⁴³²
------------	---

⁴³⁰ <<https://www.projektmagazin.de/glossarterm/arbeit>> (09.04.2018): „Arbeit wird als Produkt aus eingesetzten Mitarbeitern und der verstrichenen Arbeitszeit gemessen.“

⁴³¹ <<https://www.duden.de/rechtschreibung/Arbeitstag>> (03.05.2018): „Tag, an dem [berufliche] Arbeit geleistet wird oder zu leisten ist.“

⁴³² <http://www.wald-prinz.de/brusthoendurchmesser-bhd-vs-mittendurchmesser/3652> (20.04.2016)
Holzvolumen-Bestimmung: Bei forstlichen Bestandsaufnahmen wird über den BHD näherungsweise die Holzmasse ermittelt. Die Näherungsformel lautet: Volumen = BHD² / 1000. Dabei wird der BHD in Zentimetern eingesetzt, das Ergebnis sind hingegen Festmeter.

Derbholz – Reisig	„Derbholz = die oberirdische Holzmasse über 7 cm D. m. R. ...“ „Nichtderbholz = „die übrige Holzmasse, welche in Reisig und Stockholz zerfällt. Reisig (oder Reisholz) ist das Holz unter 7 cm D. m. R. Stockholz ist das unterirdische Holz ...“ ⁴³³
fm	Festmeter „Ein Festmeter Holz entspricht 1 Kubikmeter (m ³) massivem Holz, d. h. ohne Zwischenräume in der Schichtung.“ ⁴³⁴
rm – Ster	„Raummeter oder Ster: Dieses Raummaß entspricht einem Würfel von einem Meter (1 m) Seitenlänge, also einem Rauminhalt von einem Kubikmeter (1 m ³) geschichteter Holzmasse, einschließlich der Zwischenräume in der Aufschichtung.“ ⁴³⁵
Vfm	„Vorratsfestmeter wird gemessen mit Rinde, Angabe des Holzvorrates eines stehenden Baumes oder eines stehenden Waldes oder Baumbestandes und erfasst nur das Derbholz.“ ⁴³⁶
Vfm/ha	Vfm je ha Waldfläche

Physikalische Einheiten

a	Jahr
t	Tonne
J	Energieeinheit Joule ⁴³⁷
kg/l – kg/fm – kg/rm	spezifisches Gewicht in Kilogramm je Volumeneinheit eines Stoffes
kWh – MWh	Energieeinheit Kilowattstunde – Megawattstunde

Verkehr/Transport

km	Länge des Transportweges
km/h	Transportgeschwindigkeit
t – m ³	Transportmenge eines Transportauftrages (Verkehrsauftrages)
t*km – m ³ *km	Verkehrsarbeit VA ⁴³⁸
t*km/h – m ³ *km/h	Verkehrsleistung VL

⁴³³ Prodan 1965, 7. (D. m. R. = Durchmesser).

⁴³⁴ <<http://www.wald-prinz.de/festmeter-raummeter-schuttraummeter-co/551>> (03.05.2018).

⁴³⁵ <<http://www.wald-prinz.de/festmeter-raummeter-schuttraummeter-co/551>> (03.05.2018).

⁴³⁶ <<http://www.wald-prinz.de/festmeter-raummeter-schuttraummeter-co/551>> (15.08.2017): Auf den Ausweis des Erntefestmeters wird verzichtet. Erntefestmeter (Efm) entspricht einem Vorratsfestmeter abzüglich ca. 10% Rindenverluste und ca. 10% Verluste bei der Holzernte. Diese Detailierung wird hier angesichts der insgesamt sehr grob durchgeführten Näherungsrechnungen vernachlässigt.

⁴³⁷ <<https://www.unitjuggler.com/energy-umwandeln-von-J-nach-Wh.html?val=1000>> (03.05.2018):
1 Wh = 3.600 J

⁴³⁸ <<http://www.enzyklo.de/Begriff/Verkehrsarbeit>> (03.04.2018); Anm.: hier wird statt dem sonst üblichen Multiplikationszeichen „x“ ein „*“ verwendet.

weitere Begriffe

Brennwert	„Die pro Kilogramm eines Treib- oder Brennstoffs gewinnbare Wärmeenergie <u>bei Kondensation des Wasserdampfs</u> im Abgas“ ⁴³⁹ z. B. in MWh/kg
Charge	Ofenfüllung ⁴⁴⁰
Formplatz	Arbeitsplatz eines Ziegelformers
Heizwert	„Die pro Kilogramm eines Treib- oder Brennstoffs gewinnbare Wärmeenergie <u>ohne Kondensation des Wasserdampfs</u> im Abgas“ ⁴⁴¹ z. B. in MWh/kg
Pflug	„Mannschaft eines Streich- oder Formtisches“ ⁴⁴²
Rohling	geformter, noch nicht gebrannter Ziegel
Rüsten/Rüstzeit	Vorbereiten des Arbeitssystems bzw. der Betriebsmittel bzw. beim Menschen seine eigene Vorbereitung auf das Ausführen der Aufgabe ⁴⁴³
Saison	Abschnitte eines Jahres, in denen Ziegel produziert werden (können)
Schicht	„Abschnitt eines Arbeitstages in durchgehend arbeitenden Betrieben, in denen die Arbeitsplätze in einem bestimmten Turnus mehrmals am Tag besetzt werden“ ⁴⁴⁴
MWh/m ³	je m ³ Brennkammer verbrauchte Energie bei einem Brand

Ziegeltypen/-formate

<i>tegula</i>	Deckziegel
<i>imbrex</i>	Wölbziegel

⁴³⁹ <<https://www.energie-lexikon.info/brennwert.html>> (03.05.2018).

⁴⁴⁰ <<https://www.duden.de/rechtschreibung/Charge>> (03.05.2018).

⁴⁴¹ <<https://www.energie-lexikon.info/heizwert.html>> (02.08.2017): „Im Gegensatz zum Brennwert bezeichnet der Heizwert die Wärmemenge, die bei der Verbrennung und anschließenden Abkühlung auf die Ausgangstemperatur des brennbaren Gemisches frei wird, wobei das Verbrennungswasser noch dampfförmig vorliegt. Der Heizwert von wasserreichen Brennstoffen ist deshalb deutlich geringer als deren Brennwert, und zwar um den Betrag der Verdampfungsenthalpie des vorliegenden Wasserdampfes.“ <<https://www.gammel.de/de/lexikon/heizwert--brennwert/4838>> (25.10.2016) und <[http://www.tomchemie.de/Mathe/11/11.5%20Brennwert%20und%20Heizwert%20\(DIN%205499\).htm](http://www.tomchemie.de/Mathe/11/11.5%20Brennwert%20und%20Heizwert%20(DIN%205499).htm)> (12.07.2017).

⁴⁴² Bender – Schrader 1999, 86/87.

⁴⁴³ <<https://refa-consulting.de/ruesten>> (15.06.2016).

⁴⁴⁴ <<https://www.duden.de/rechtschreibung/Schicht>> (03.05.2018).

*lateres*⁴⁴⁵

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

⁴⁴⁵ Brandl – Federhofer 2010, 22.

15 Listen der Abbildungen und Tabellen

15.1 Abbildungen

Abbildung 1	Flussdiagramm – einfache Form (Fischermann 2012)	16
Abbildung 2	Flussdiagramm – Aktivitätenfolge (Fischermann 2012)	17
Abbildung 3	Flussdiagramm zur Illustration der Ziegelproduktion	25
Abbildung 4	Vorschlag für eine Systematik zum Studium der römischen Ziegel	28
Abbildung 5	Systemmodell der römisch-britischen Ziegelproduktion	30
Abbildung 6	Organigramm einer Schachtofenbelegschaft mit 2 Formern	34
Abbildung 7	Leistenziegeldach	43
Abbildung 8	römische <i>tegulae</i> und <i>imbrices</i>	43
Abbildung 9	Abmessungen römischer <i>tegulae</i> aus Befundberichten	44
Abbildung 10	Abmessungen römischer <i>lateres</i> Standardwerte und Werte aus Befundberichten.....	46
Abbildung 11	<i>lateres</i> : Dicke verschiedener quadratischer Ziegel	47
Abbildung 12	Römischer Ziegelbrennofen	51
Abbildung 13	Klassen rechteckiger Brennöfen	52
Abbildung 14	Prozesskette der Ziegelproduktion mit Lehm- und Brennmaterialgewinnung.....	55
Abbildung 15	Beziehung zwischen Schaftholz (1 + 3), Derbholz (1 + 2), Reisig (4 + 3) bzw. Schaftderb- und Schaftreisholz (3), Astderbholz (2) und Schaftderbholz (1)	76
Abbildung 16	Ertragstafel Rotbuche in Vfm je ha	78
Abbildung 17	Prozesskette der Brennholzgewinnung.....	82
Abbildung 18	Dormagen, Übersicht der Fundstellen	97
Abbildung 19	Übersichtsplan der Militärziegelei	98
Abbildung 20	Dormagen, Militärziegelei. Lageplan Ofen I und Ofen II	99
Abbildung 21	Produktionsprogramm Ziegelei Dormagen – Auswertung der Befunde	102
Abbildung 22	Anzahl MT je AT für den ersten Brand.....	109
Abbildung 23	Anzahl MT je AT.....	110
Abbildung 24	Maximalmengen je Jahr und Ziegeltyp in m ² Ziegelfläche.....	112

Abbildung 25	Bedarfe und Bestände an Derbholz und Reisig	113
Abbildung 26	Aufwand für Brennmaterial in Abhängigkeit von Transportweg und -geschwindigkeit	117
Abbildung 27	Relation Hallen- zu Brennkammerflächen nach Charlier	119
Abbildung 28	Geographische Lokalisierung der <i>Ziegel-figlinae</i> für das Trajans Forum	134
Abbildung 29	Anteile der Aktivitäten am jährlichen Personalbedarf für die Ziegelherstellung für die Caracalla-Thermen	146
Abbildung 30	Herstellen einer <i>tegula</i> mit Drahtschnitt	161
Abbildung 31	Formhölzer zur Herstellung der verschiedenen Ziegelarten	164
Abbildung 32	Beispiel für die Herstellung größerer Platten	165
Abbildung 33	Beispiel für Flach- und Wölbziegelformen im 19. Jh.	165
Abbildung 34	Ablauf beim Formen der Dachziegel für Gebäude des archäologischen Parks in Xanten	166
Abbildung 35	Hallen in Gallien und Germanien	172
Abbildung 36	Möglichkeit zur Anordnung von <i>tegulae</i> in Brennöfen	174
Abbildung 37	Blick von oben in die Ofenkammer	174
Abbildung 38	Ziegelbrennofen Flintsbach, Lkr. Deggendorf, Brennkurve	177
Abbildung 39	Brennkurven	177
Abbildung 40	Brennkurve Zeit: Relation Kühlzeit zu Brennzeit	181
Abbildung 41	Brennkammerflächen aus 112 Befunden römischer Öfen	182
Abbildung 42	Brennkammerflächen aus 112 Befunden römischer Öfen	183
Abbildung 43	Relation der Brennkammerflächen-Abmessungen	184
Abbildung 44	Heizwerte verschiedener Brennmaterialien	188
Abbildung 45	Energieverbrauch MWh/m ³ Brennkammer	192
Abbildung 46	Bestand in Hümmel.....	199
Abbildung 47	Bestand in Bialowieza (Urwald).....	200
Abbildung 48	Bestand in Hümmel.....	200
Abbildung 49	Bestand in Bialowieza.....	200
Abbildung 50	Auswertung Kölner Tableau.....	204
Abbildung 51	Zeitentabelle für das Gewinnen von Buchenholzstämmen	210
Abbildung 52	Schema einer Arbeitszeitstudie	211
Abbildung 53	Dauer Tageslicht in Köln	231
Abbildung 54	Lehmvorkommen in Rom und Zentralitalien	237

Abbildung 55 Zentren der Keramikproduktion	238
Abbildung 56 Zentren der Keramikproduktion	239
Abbildung 57 Lage der wichtigsten Ziegelproduktionsgebiete im mittleren Tibertal	239
Abbildung 58 Karte der Verteilung der Öfen bzw. von Ofenfüllungen	240
Abbildung 59 Survey area (Peña 1987)	241

15.2 Abbildungsnachweis

Abbildung 1 Fischermann 2012, 12 Abb. G01: Prozessdefinition	
Abbildung 2 Fischermann 2012, 93 Abb. 1.24: Untergliederung der Organisationsprozesse	
Abbildung 3 McWhirr – Viner 1978, 360 Fig. 1 Flow chart to illustrate tile production	
Abbildung 4 Darvill 1979, 310 Fig. 18.1 Suggested scheme for the study of Roman tiles	
Abbildung 5 Darvill – McWhirr 1982, 140 Fig. 1 A systems model of Roman-British brick production	
Abbildung 6 nach De Niel 2000, 63 13. Bijlage: Organogram: Klampovengeleeg met twee steenmakers; (übersetzt vom Verfasser)	
Abbildung 7 Bender 2008, 33 Bild 2.30 Das Leistenziegeldach der Römer	
Abbildung 8 Fotos aus: Bender 2008, 21; Brandl – Federhofer 2010, 22 und Bundesverband 2008, o. S. Abb. 2.	
Abbildung 9 vom Verfasser erstellt	
Abbildung 10 vom Verfasser erstellt	
Abbildung 11 vom Verfasser erstellt	
Abbildung 12 Bender 2008, 283 Abb. 10.43. Römischer Ziegelbrennofen	
Abbildung 13 Cuomo di Caprio 1979 76, aus Fig. 5.2 Classification of Kilns.	
Abbildung 14 vom Verfasser erstellt	
Abbildung 15 Prodan 1965, 11 Abb. 4 Beziehung zwischen Schaftholz (1 + 3), Derbholz (1 + 2), Reisig (4 + 3) bzw. Schaftderb- und Schaftreisholz (3), Astderbholz (2) und Schaftderbholz (1)	
Abbildung 16 Schober 1975 140 Ertragstafel Rotbuche	
Abbildung 17 vom Verfasser erstellt	
Abbildung 18 Müller 1979a, Tafel 1 Dormagen, Übersicht der Fundstellen	
Abbildung 19 Müller 1979a, Tafel 2 Dormagen, Übersichtsplan der Militärziegelei	

- Abbildung 20 Müller 1979a, Tafel 3 Dormagen, Militärziegelei. Lageplan Ofen I und Ofen II
- Abbildung 21 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 22 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 23 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 24 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 25 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 26 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 27 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 28 Bianchi 2004, 289 Fig. 13. Localizzazione geografica delle figline fornitrici di laterizi per il Foro di Traiano.
- Abbildung 29 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 30 Rook 1979, 299 Fig. 16.3 Wirecut moulding of a *tegula*.
- Abbildung 31 Federhofer 2007, 14 Abb. 5. Formhölzer zur Herstellung der verschiedenen Ziegelarten
- Abbildung 32 Charlier 2011, 139
- Abbildung 33 Charlier 2011, 146
- Abbildung 34 Kienzle 2011, 226 Abb. 1 Herstellung von *tegulae* (Dachziegel)
- Abbildung 35 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 36 Warry 2006, 120
- Abbildung 37 Immenkamp 2011a (Foto: LWL/Immenkamp)
- Abbildung 38 Federhofer 2007, 19 Diagramm 1 Ziegelbrennofen Flintsbach, Lkr. Deggendorf, Brennkurve
- Abbildung 39 Bender 2008, 270 Bild 10.2 Brennkurven
- Abbildung 40 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 41 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 42 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 43 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 44 vom Verfasser erstellt 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)
- Abbildung 45 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 46 Foto: <<http://franzjosefadrian.com/naturwaldzellen/rheinland-pfalz/huemmelpfalz/2/>> (29.08.2017)

- Abbildung 47 <<http://www.bialowieza-info.eu/de/galerie.php>> (05.10.2017)
- Abbildung 48 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 49 <<http://www.bialowieza-info.eu/de/galerie.php>> (05.10.2017)
- Abbildung 50 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 51 Weber 1950, 25 Anhang 4
- Abbildung 52 Gläser 1960, 155 Abb. 173 Schema einer Arbeitszeitstudie
- Abbildung 53 vom Verfasser erstellt
- Abbildung 54 DeLaine 1992, Figure 55 Rome and central Italy, showing sources of clay
- Abbildung 55 Ferdière 2012, 46 Fig. 6b centres de production céramique (selon Peña 1987 : 55-71). Anmerkung: Peña liefert jedoch lediglich die Orte Nr. 3, 10, 11, 12, 13, 14, 23, 24, 25 und 26. Ein Abgleich mit der Quelle ergab überdies, dass die Nrn. 3, 10, 11, 12, 13, 14, 23, 24 Töpfereistandorte – und damit für die hier angestellten Betrachtungen nicht relevant – sind.
- Zu den anderen Standorten 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 27–30 werden keine Quellen und Beschreibungen angegeben; ebenfalls nicht, ob es sich um Töpferei- oder Ziegeleestandorte handelt.
- Die Ausarbeitung basiert im Wesentlichen auf Surveys und der Analyse von Ziegelstempeln; sie liefert keine Befundbeschreibungen oder Informationen zu Brennöfen. Dies gilt auch für die in der gleichen Publikation gezeigte Karte 6c 46, die ebenfalls nur Namen von *figlinae* mit groben Zuordnungen zu Regionen zeigt.
- Abbildung 56 Ferdière 2012, 46 Fig. 6c les officines et les domini et officinatores associés, selon les estampilles.
- Abbildung 57 Bukowiecki – Wulff-Rheidt 2016a, 28 fig. 3 Localizzazione delle principali zone di produzione laterizia nella media valle del Tevere
- Abbildung 58 Petracca – Vigna 1985, 132 Fig. 99 Carta di distribuzione delle fornaci
- Abbildung 59 Peña 1987, 550 Map 4

15.3 Tabellen

Tabelle 1	Ausgewählte Branchen	22
Tabelle 2	Zeitbedarf Formen je Ziegeltyp – Schätzungen	64
Tabelle 3	Buchen-Ertragstafel für gute Standorte	78
Tabelle 4	Vorratsfestmeter und Anzahl Stämme je Bestand	80
Tabelle 5	Ausgewähltes Produktionsprogramm	101
Tabelle 6	Füllmengen und Fülldauern der Öfen I und II in Dormagen	103

Tabelle 7	Zeitbedarf für das Formen je Charge	104
Tabelle 8	Zeitbedarf je Ofen und Charge	105
Tabelle 9	Anzahl mindestens benötigter Formplätze je Ofen	106
Tabelle 10	Standardprodukte	123
Tabelle 11	Füllmengen und mögliche Ziegelflächen	124
Tabelle 12	Zeitbedarf für das Formen je Charge	124
Tabelle 13	Brennen: Zeitbedarf je Charge	125
Tabelle 14	Anzahl mindestens benötigter Formplätze	126
Tabelle 15	mögliche Füllmengen je Ziegeltyp	130
Tabelle 16	Zeitbedarf für das Formen je Ziegeltyp	131
Tabelle 17	Bewertung der Branchen und Produkte	153
Tabelle 18	Maximal mögliche Brennkammerbefüllung	187
Tabelle 19	Auszug aus dem Kölner Tableau	205
Tabelle 20	Berechnung Zeitbedarf je fm je Referenzbaum und Bäume mit anderen Durchmesser	206
Tabelle 21	Personalbedarf bei Totalrodung je ha und Bestände	207
Tabelle 22	Ziegel-Brände	244
Tabelle 23	Ziegelproduktion	245

15.4 Tabellennachweis

Tabelle 1	vom Verfasser erstellt
Tabelle 2	vom Verfasser erstellt
Tabelle 3	Gadow, 2005, 134 Tabelle 3.2.-1. Buchen-Ertragstafel für gute Standorte, erstellt von Paulsen (1795)
Tabelle 4	vom Verfasser erstellt
Tabelle 5	vom Verfasser erstellt
Tabelle 6	vom Verfasser erstellt
Tabelle 7	vom Verfasser erstellt
Tabelle 8	vom Verfasser erstellt
Tabelle 9	vom Verfasser erstellt
Tabelle 10	vom Verfasser erstellt
Tabelle 11	vom Verfasser erstellt

Tabelle 12 vom Verfasser erstellt

Tabelle 13 vom Verfasser erstellt

Tabelle 14 vom Verfasser erstellt

Tabelle 15 vom Verfasser erstellt

Tabelle 16 vom Verfasser erstellt

Tabelle 17 vom Verfasser erstellt

Tabelle 18 vom Verfasser erstellt

Tabelle 19 vom Verfasser erstellt

Tabelle 20 vom Verfasser erstellt

Tabelle 21 vom Verfasser erstellt

Tabelle 22 DeLaine 1992, 187 Table 8: Brick-kiln Firings

Tabelle 23 DeLaine 1992, 188 Table 9: Brick Production

16 Literaturverzeichnis

16.1 Literaturnachweise

- Bartel u. a. 2002: H. Bartel – H. J. Mucha – J. Dolata, Automatische Klassifikation in der Archäometrie. Berliner und Mainzer Arbeit zu oberrheinischen Ziegeleien in römischer Zeit, *Berliner Beitr. Archäometrie* 19, 2002, 31–62
- Bechstein 1821: J. M. Bechstein, *Die Waldbenutzung für angehende und ausübende Forstmänner und Cameralisten* (Gotha 1821)
- Behringer – Rek 1950: A. Behringer – F. Rek, *Das Maurerbuch: Ein Fachbuch für Geselle, Polier und Meister. Ein Buch der Praxis für Baumeister, Architekten und Lehrer* (Ravensburg 1950)
- Bender 1982: W. F. Bender (Hrsg.), *Handbuch für die Ziegelindustrie* (Wiesbaden 1982)
- Bender 2008: W. Bender, *Vom Ziegelgott zum Industrieelektroniker. Geschichte der Ziegelherstellung von den Anfängen bis heute* (Bonn 2008)
- Bender – Schrader 1999: W. Bender – M. Schrader, *Dachziegel als historisches Baumaterial: ein Materialleitfaden und Ratgeber* (Sudenburg-Hösseringen 1999)
- Berger 1969: L. Berger, *Ausgrabungen in Augst III. Ein römischer Ziegelbrennofen bei Kaiseraugst* (Basel 1969)
- Berka – Kreiser 1986: K. Berka – L. Kreiser (Hrsg.), *Logik-Texte. Kommentierte Auswahl zur Geschichte der modernen Logik* (Berlin 1986)
- Bermond Monatanari 1962: G. Bermond Monatanari, *Fornaci romane rinvenute in Emilia*, *Arch. Class.* 14, 1962, 162–209
- Bianchi – Strino 1990: C. Bianchi – V. Strino, *Materiali di costruzione e rivestimento, Laterici*, in: G. De Marinis (Hrsg.), *Archeologia urbana a Fiesole* (Florenz 1990) 314–316
- Bianchi 2004: E. Bianchi, *Produzioni latericie e cantieri edilizi traianei*, in: E. C. De Sena – H. Dessales H. (Hrsg.), *Metodi e approcci archeologici: l'industria e il commercio nell'Italia antica*, *BAR* 1262 (Oxford 2004) 268–290
- Bönisch 1996: H. Bönisch, *Historische Ziegeltechnologie unter besonderer Beachtung des Feldbrandes. Bericht der Stiftung Ziegelei-Museum*, 13 (Meienberg Cham 1996) 5–10
- Bönisch 1998a: H. Bönisch, *Bau und Betrieb historischer Ziegelöfen. Jahresber. Stiftung Ziegelei-Museum*, 15 (Meienberg Cham 1996) 17–22
- Bönisch 1998b: H. Bönisch, *Technologiewechsel bei Ziegelöfen. Bericht der Stiftung Ziegelei-Museum* 15 (Meienberg Cham 1996) 31–36

- Boon 1984: G. C. Boon, *Laterarium Iscanum: The Antifixes, Brick & Tile Stamps of the Second Augustan Legion* (Cardiff 1984)
- Brandl – Federhofer 2010: U. Brandl – E. Federhofer (Hrsg.), *Ton und Technik: Römische Ziegel*. Schriften des Limesmuseums Aalen 61, (Aalen 2010)
- Braukmüller 2000: H. Braukmüller, „... lasset uns die Ziegel brennen! Über Ziegler und Ziegeleien an der Ems (16.–20. Jh.)“ (Weener 2000)
- Brodribb 1987: G. Brodribb, *Roman brick and tile* (Gloucester 1987)
- Bukowiecki 2008: E. Bukowiecki, *La brique dans l'architecture impériale à Rome: étude de quelques grands chantiers du Palatin. Mémoire ou thèse (version d'origine)* (Lille 2008)
- Bukowiecki – Wulf-Rheidt 2016a: E. Bukowiecki – U. Wulf-Rheidt, *Approvvigionamento die laterizi nei cantieri palatini*, in: E. Bukowiecki – R. Volpe – U. Wulf-Rheidt (Hrsg.), *Archeologia dell'Architettura*, XX, 2015 – *Il laterizio nei cantieri cantieri imperiali, Roma e il Mediterraneo: atti del 1 workshop «Laterizio», Roma, 27–28 novembre 2014* (Florenz 2016) 26–30
- Bukowiecki – Wulf-Rheidt 2016b: E. Bukowiecki – U. Wulf-Rheidt, *Transporto e stoccaggio die laterizi a Roma: nuove riflessioni in corso*, in : E. Bukowiecki – R. Volpe – U. Wulf-Rheidt (Hrsg.), *Archeologia dell'Architettura*, XX, 2015 – *Il laterizio nei cantieri cantieri imperiali, Roma e il Mediterraneo: atti del 1 workshop „Laterizio“, Roma, 27–28 novembre 2014* (Florenz 2016) 45–49
- Bullack 2004: D. Bullack, *Das Feldbrand-Verfahren: Ziegelöfen in Goch im 19. Jahrhundert anhand von Beispielen*, *An Niers und Kendel* 40 (Goch 2004) 20–25
- Bundesverband 2008: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V. (Hrsg.), *Die Römer und ihre Ziegel* (Bonn 2008)
- Bunnik u. a. 1995: F. P. M. Bunnik – A. Kalis – J. Meurers-Balke – u. a., *Archäopalynologische Betrachtungen zum Kulturwandel in den Jahrhunderten um Christi Geburt*. *Archäologische Informationen* 18, 2, 1995, 169–185
- Campbell – Pyce 2003: W. P. Campbell – W. Pyce, *Backstein: eine Architekturge-schichte – von den Anfängen bis zur Gegenwart* (München 2003)
- Charlier 2011: F. Charlier, *Technologie des tuiliers gallo-romains (Gaules et Germanies): analyse comparative et régressive des structures de production des matériaux de construction en terre cuite de l'époque contemporaine à l'Antiquité* (Besancon 2011)
- Cotterell – Kamminga 1990: B. Cotterell – J. Kamminga, *Mechanics of pre-industrial technology* (Cambridge 1990)
- Cuomo di Caprio 1972: N. Cuomo di Caprio, *Proposta di classificazione delle fornaci per ceramica e laterici nell' area Italiana*, *Sibrium* 11 (Varese 1972) 371–464

- Cuomo di Caprio 1979: N. Cuomo di Caprio, Pottery- and Tile-Kilns in South Italy and Sicily, Roman brick and tile, in: A. D. McWhirr, *Studies in manufacture, distribution and use in the Western Empire*, BAR 68 (Oxford 1979) 73–96
- Cuomo di Caprio 1998: N. Cuomo di Caprio, Con la terra e con il fuoco. Fornaci romane del riminese, in: V. Righini (Hrsg.), *Le fornaci romane : produzione di anfore e laterizi con marchi di fabbrica nella Cispadana orientale e nell'Alto Adriatico : atti delle giornate internazionali di studio*, Rimini, 16–17 ottobre 1993 (Rimini 1998) 9–11
- Darvill 1979: T. Darvill, A Petrological Study of LHS and TPF Stamped Tiles from the Cotswold Region, in: A. D. McWhirr, *Studies in manufacture, distribution and use in the Western Empire*, BAR 68 (Oxford 1979) 309–350
- Darvill 2008: T. Darvill, *The concise Oxford dictionary of archaeology* (Oxford 2008)
- Darvill – McWhirr 1982: T. Darvill – A. D. McWhirr, Roman brick production and the environment, in: D. Miles (Hrsg.), *The roman-british countryside. Studies in rural settlement and economy*, BAR 103 (Oxford 1982) 137–150
- Darvill – McWhirr 1984: T. Darvill – A. D. McWhirr, Brick and tile production in Roman Britain: models of economic organisation, *World archaeology*, 15.3, 1984, 239–261
- Davies 1989: R. W. Davies, *The daily life of the roman soldier under the principate. Service in the roman army* (New York 1989)
- De Niel 2000: P. De Niel, *Gevormd, gedroogd en voor de eeuwigheid gebakken*, Ecomuseum en Archief van de Boomse Baksteen vzw. (Boom 2000)
- De Niel 2001: P. De Niel, *Onder de Pannen zijn* (Boom 2001)
- DeLaine 1992: J. DeLaine, *Design and construction in roman architecture. The Baths of Caracalla in Rome* (Adelaide 1992)
- DeLaine 1995: J. DeLaine, The Supply of Building Materials to the City of Rome, in: P. Vincenzini (Hrsg.), *The ceramics Cultural Heritage, Proc. of the Internat. Symposium The Ceramic Heritage of the 8th CIMTEC, World Ceramics Congress and Forum on New Materials* (Florence, 28 juin–2 juill. 1994) (Faenza 1995) 555–568
- DeLaine 1997: J. DeLaine, *The baths of Caracalla: a study in the design, construction and economics of large-scale building projects in Imperial Rome* (Ann Arbor 1997)
- DeLaine 2001: J. DeLaine, Bricks and Mortar. Exploring the economics of building techniques at Rome and Ostia, in: D. J. Mattingly (Hrsg.), *Economies beyond the agriculture in the classical world* (London 2001) 230–268

- DeLaine 2016: J. DeLaine, The production, supply and distribution of brick, Il laterizio nei cantieri imperiali, Roma e il Mediterraneo, in: E. Bukowiecki – R. Volpe – U. Wulf-Rheidt (Hrsg.), *Archeologia dell'Architettura*, XX, 2015 – Il laterizio nei cantieri imperiali, Roma e il Mediterraneo: atti del 1 workshop « Laterizio », Roma, 27–28 novembre 2014 (Florenz 2016) 226–230
- De Maria 1978: S. De Maria, Fornaci, in: S. De Maria – G. A. Mansuelli – Sassatelli G. – D. Vitali, *Marzabotto, Scavi nella città etrusca di Misano (campagne 1969–1974)* (Bologna 1978) 82–91
- Denecke 1985: D. Denecke, Straße und Weg im Mittelalter als Lebensraum und Vermittler zwischen entfernten Orten, in: B. Herrmann (Hrsg.), *Mensch und Umwelt im Mittelalter* (Köln 1985) 203–219
- Dethlefsen 1915: Dethlefsen, Ein mittelalterlicher Ziegelofen, *Die Denkmalpflege* 17.2, 1915, 12–14
- DIN 1999: *DIN*, Internationales elektrotechnisches Wörterbuch, Teil 351: Automatisierungstechnik = International electrotechnical vocabulary¹ (Berlin 1999)
- Dieter – Englert 2001: M. Dieter – H. Englert, Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland, *Arbeitsbericht Institut für Ökonomie Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft* (Hamburg 2001)
- Dobson 1850: E. Dobson, *A Rudimentary Treatise on the Manufacture of Brick and Tiles* (London 1850)
- Dümmler 1911: K. Dümmler, *Handbuch der Ziegelfabrikation. Die Herstellung der gesamten keramischen Baumaterialien, wie Ziegel, Terrakotten, Röhren, Platten, Kacheln feuerfeste Ware usw.* (Halle 1910)
- Duhamel du Monceau u. a. 1765: H. L. Duhamel du Monceau – C. R. Fourcroy de Ramecourt – J. G. Gallon, *Die Kunst Mauer und Dachziegel zu streichen* (Königsberg 1765)
- Ebert – Vogtmeier 1980: B. Ebert – M. Vogtmeier, *Die lippischen Wanderziegler* (Detmold 1980)
- Ehmig 2012: U. Ehmig, Auf dem Holzweg. Bevölkerungsdichte und natürliche Ressourcen. Überlegungen zum Holzbedarf im römischen Rheinland, *Ancient Society* 42, 2012, 159–218
- Ellmers 1972: D. Ellmers, *Frühmittelalterliche Handelsschiffahrt in Mittel- und Nordeuropa* (Neumünster 1972)
- Erler 2000: J. Erler, *Forsttechnik – Verfahrensbewertung* (Stuttgart 2000)
- Fabrizi 2006: F. Fabrizio et al., Rassegna delle attestazioni di fornaci ed aree di scarti nel medio Valdarno. *Rassegna di archeologia: classica e postclassica* 22/B, 2006, 301–311

- Federhofer 2007: E. Federhofer, Der Ziegelbrennofen von Essenbach und römische Ziegelöfen in Raetien und Noricum. Untersuchungen zu Befunden und Funden, zum Produktionsablauf und zur Typologie (Rahden 2007)
- Federhofer 2011: E. Federhofer, Ein römischer Ziegelofen macht Geschichte: der Ofen aus Essenbach im Ziegel- und Kalkmuseum Flintsbach (Hauzenberg 2011)
- Feistmantel 1836: R. Feistmantel, Die Forstwissenschaft in ihrem ganzen Umfange und mit besonderer Rücksicht auf die österreichischen Staaten. Dritte Abtheilung: Grundzüge der Forstbenützung (Wien 1836)
- Ferdière 2012: A. Ferdière, La production de terres cuites architecturales en Gaule et dans l'Occident romain, à la lumière de l'exemple de la Lyonnaise et des cités du nord-est de l'Aquitaine : un artisanat rural de caractère domanial? RACFr 51, 2012, 17–187
- Fischermanns, 2012: G. Fischermanns, Praxishandbuch Prozessmanagement, ibo Schriftenreihe 9¹⁰(Gießen 2012)
- Fleischer 2009: M. Fleischer, Geschichte der Holzernte in Handarbeit (Halle 2009)
- Frank 1940: T. Frank, Rome and Italy of the empire. An economic survey of ancient Rome (Baltimore 1940)
- Frenz 1982: H. G. Frenz, Bildliche Darstellungen zur Schifffahrt römischer Zeit an Rhein und Tiber, in: G. Rupprecht (Hrsg.), Die Mainzer Römerschiffe (Mainz 1982) 82–95
- Gadow 2005: K. v. Gadow, Forsteinrichtung. Analyse und Entwurf der Waldentwicklung (Göttingen 2005)
- Gasperoni 2010: T. Gasperoni, Mugnano in Teverina, localita Rota Rio. Recentiindigni su fornaci di opus doliare: relazione preliminare, in: P. A. Gianfrotta (Hrsg.), Archeologia nella Tuscia, atti dell'incontro di studio (Viterbo, 2 marzo 2007) (Viterbo 2010) 175–183
- Gechter 1993: M. Gechter, Römisches Ziegeleigelände in Dormagen, Archäologie im Rheinland 1992, 1993, 66–68
- Giustini 1997: L. Giustini, Fornaci e laterizi a Roma dal XV al XIX secolo (Rom 1997)
- Gläser 1960: H. Gläser, Die Ernte des Holzes (Neuwied 1960)
- Goll 1984: J. Goll, Kleine Ziegelgeschichte. Zur Einordnung der Ziegelfunde aus der Grabung St. Urban, Jahresber. Stiftung Ziegelei-Museum, 2 (Meienberg Cham 1984) 29–76
- Graser 1940: E. R. Graser, The edict of Diocletian on maximum prices, in: T. Frank, An economic Survey of Ancient Rome, ⁵(Baltimore 1940) 305–370
- Green 1970: T. Green, Roman tileworks at Itchingfield, Sussex Archaeological Collections 108 (Hove 1970) 23–38

- Greene – Johnson 1978: J. P. Greene – B. Johnson, An experimental tile kiln at Norton Priory, Cheshire, *Medieval Ceramics* 2, 1978, 31–42
- Grimes 1930: W. F. Grimes, *The Work-depot of the twentieth Legion at Castle Lyons* (London 1930)
- Häberle 1967: S. Häberle, *Die deduktive Ermittlung von Richtzeiten für die Holzhaue-
rei* (München 1967)
- Hafner, 1982: F. Hafner, Holztransport und Holztransportanlagen in Österreich, IUFRA
Fachgruppe Forstgeschichte (Hrsg.), *Forst- und Jagdgeschichte Mitteleuropas. Forst-
liche Bundesversuchsanstalt* (Wien 1982) 49–62
- Hampe – Winter 1965: R. Hampe – A. Winter, *Bei Töpfern und Ziegeln in Süditalien,
Sizilien und Griechenland* (Mainz 1965)
- Hampel 2014: A. Hampel, Die römische Legionsziegelei in Frankfurt am Main Nied,
Der Limes 8, 2014, 26–31
- Hanson 1978: W. S. Hanson, The Organisation of Roman Military Timber-Supply, *Bri-
tannia* 9, 1978, 293–305
- Harley 1974: L. S. Harley, A typology of brick: with numerical coding of brick charac-
teristics, *Journal of the British Archaeological Association*, 37, 1974, 63–87
- Hartig 1827: E. F. Hartig, *Praktische Anleitung zum Baumroden nach den neuesten Ver-
suchen* (Marburg 1827)
- Hartig 1851: G. L. Hartig, *Lehrbuch für Förster und für die, welche es werden wollen* 3
(Stuttgart 1851)
- Hennrich 2003: C. Hennrich, Mittelalterliche Ziegeltechniken, in: E. Badstübner –
D. Schumann (Hrsg.), *Backsteintechnologien in Mittelalter und Neuzeit. Studien zur
Backsteinarchitektur* 4 (Berlin 2003) 24–52
- Hollestelle 1961: J. Hollestelle, *De steenbakkerij in de Nederlanden tot omstreeks 1560*
(Assen 1961)
- Holwerda – Braat 1946: J. H. Holwerda – C. Braat, *De Holdeurn bij berg en dal: cent-
rum van pannenbakkerij en aardewerkindustrie in den romeinschen tijd* (Leiden
1946)
- Hurst 1865: J. T. Hurst, *A Handbook of Formulae, Tables and Memoranda for Architec-
tural Surveyors and other engaged in building* (London 1865)
- Immenkamp 2010: A. Immenkamp, Rekonstruktion eines römischen Militärziegelofens
aus Dormagen, *Archäologie im Rheinland*, 2009, 2010, 75–77
- Jahn 1909: V. Jahn, Die römischen Dachziegel von Windisch, *Anzeiger für schweizeri-
sche Altertumskunde*, 1909, 111–129
- Kaltschmitt – Wiese 1993: M. Kaltschmitt – M. Wiese (Hrsg.), *Erneuerbare Energieträ-
ger in Deutschland: Potentiale und Kosten* (Berlin 1993)

- Kanuverband 1980: Deutscher Kanuverband, Das deutsche Fluss- und Zeltwanderbuch (Duisburg 1980)
- Kendal 1966: R. Kendal, Transport Logistics Associated with the Building of Hadrian's Wall, *Britannia* 27, 1966, 129–52
- Kienzle 2011: P. Kienzle, Die Herstellung römischer Dachziegel – experimentelle Archäologie, *Archäologie im Rheinland*, 2011, 226–7
- Killian 1982: H. Killian, Die Waldarbeit von der Antike bis zur Gegenwart. Eine Untersuchung über die historische Entwicklung von Werkzeugen und Arbeitsmethoden in vier Jahrtausenden, in: IUFRA Fachgruppe Forstgeschichte (Hrsg.), *Forst- und Jagdgeschichte Mitteleuropas*. Forstliche Bundesversuchsanstalt (Wien 1982) 38–48
- Knight – Knight 1955: B. H. Knight – R. G. Knight, *Builders' Materials* (London 1955)
- König 1998: R. König, Die keramische Trocknung (Krumbach 1998)
- Krischer – Kast 1978: O. Krischer – W. Kast, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik 1 (Berlin 1978)
- Kröll – Kast 1989: W. Kröll – W. Kast, Trocknen und Trockner in der Produktion 3 (Berlin 1989)
- Kunow 1980: J. Kunow, *Negotiator et Vectura. Händler und Transport im freien Germanien*. Kleine Schr. aus dem Vorgesch. Seminar Marburg H. 6 (Marburg 1980)
- Kurz u. a. 2009: U. Kurz – H. Hintzen – H. Laufenberg, *Konstruieren: Gestalten: Entwerfen: ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik* (Wiesbaden 2009)
- Lancaster 2016: L. C. Lancaster, Bricks and tiles, innovation and the transmission of technical knowledge, in: E. Bukowiecki – R. Volpe – U. Wulf-Rheidt (Hrsg.), *Archeologia dell'Architettura*, XX, 2015 – Il laterizio nei cantieri imperiali, Roma e il Mediterraneo: atti del 1 workshop «Laterizio» Roma, 27–28 novembre 2014 (Florenz 2016) 238–245
- Landels 1978: J. G. Landels, *Engineering in the ancient world* (London 1978)
- Laurence 1999: R. Laurence, *The roads of Roman Italy: mobility and cultural change* (London 1999)
- Le Ny 1988: F. Le Ny, *Les fours de tuiliers gallo-romains : méthodologie, étude technologique, typologique et statistique, chronologie* (Paris 1988)
- Le Ny 1992: F. Le Ny, *La production des matériaux de construction en terre cuite en Gaule romaine* (Diss. Université de Rennes 1992)
- Le Ny 1998: F. Le Ny, *Le fours de tuiliers gallo-romain en Suisse*, Jahresber. Stiftung Ziegelei-Museum, 15 (Meienberg Cham 1998) 23–30
- Leroi-Gourhan 1966: A. Leroi-Gourhan, *La préhistoire* (Paris 1966)

- Le Roux 1999: P. Le Roux, Briques et tuiles militaires dans la Péninsule Ibérique: problèmes de production et de diffusion, in: M. Bendala – Ch. Rico – L. Roldán Gómez (Hrsg.), *El ladrillo y sus derivados en la época romana* (Madrid 1999) 111–124
- Ljamic-Valovic 1986: N. Ljamic-Valovic, Die Ziegelbrennöfen der römischen Ziegelei „MLB“ in Köln Feldkassel, in: *Arheoloski vestnik/Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Institut za arheologijo* 37, 1986, 169–215
- Lorey 1887: T. Lorey, *Handbuch der Forstwissenschaft* 2 (Tübingen 1887)
- Martelli 2006: E. Martelli, Rassegna delle attestazioni di fornaci ed aree di scarti nel medio Valdarno. Introduzione, *Rassegna di archeologia: classica e postclassica* 22/B, 2006, 297–299
- Martin Seijo u. a. 2012: M. Martin Seijo – A. M. S. Bettencourt – E. Adab-Vidal – J. C. y López Garcia, Firewood and timber exploitation during Third and Second Millenia BC in Northwestern Iberia: Wood resources, territoire and chaine opératoire, in: A. Campa Almeida – A. M. S. Bettencourt – D. Moura – S. Monteiro-Rodrigues – M. I. Caetano Alves (Hrsg.), *Environmental changes and human interaction along the western atlantic edge* (Coimbra 2012) 115–135
- Masseria 1982–1983: C. Masseria, La fornace romana di Valfabbrica, *Science and Technology for Cultural Heritage* 8, 1999, 29–36
- Matz 1930: F. Matz, *Die deutsche Ziegelindustrie unter besonderer Berücksichtigung ihrer Beziehungen zur Landwirtschaft* (Berlin 1930)
- Mayr-Stihl 1976: E. Mayr-Stihl (Hrsg.), *Geschichte der Waldarbeit* (Waiblingen-Neustadt 1976)
- McWhirr 1979: A. D. McWhirr, Tile-Kilns in Roman Britain, in: A. D. McWhirr, *Roman brick and tile: studies in manufacture, distribution and use in the Western Empire*, BAR 68, (Oxford 1979) 97–191
- McWhirr 1982: A. D. McWhirr, Brick, tile and pottery, in: A. D. McWhirr (Hrsg.), *Roman Crafts and Industries* (Aylesbury 1982) 33–40
- McWhirr 1984: A. D. McWhirr, *The production and distribution of brick and tile in Roman Britain* (Leicester 1984)
- McWhirr – Viner 1978: A. D. McWhirr – D. Viner, The production and distribution of tiles in roman Britain with special reference to the Cirenaster region, *Britannia* 9, 1978, 359–77
- Meurers-Balke – Kalis 2006: J. Meurers-Balke – A. J. Kalis, Landwirtschaft und Landnutzung in der Bronze- und Eisenzeit in: J. Kunow – H.-H. Wegner (Hrsg.), *Urgeschichte im Rheinland* (Köln 2006) 267–276

- Meyer-Freuler 2009: C. Meyer-Freuler, Das römische Ziegeleiwesen in der Schweiz; neue Forschungen, Jahresber. Stiftung Ziegelei-Museum, 26 (Meienberg Cham 2009) 25–39
- Miller 1950: A. Miller, Clay Brickmaking in Great Britain. A survey of methods used (London 1950)
- Müller 1979a: G. Müller, Durnomagus das römische Dormagen (Köln 1979)
- Müller 1979b: G. Müller, Ausgrabungen in Dormagen 1963–1977 (Köln 1979)
- Müller-Thomas 1941: H. V. Müller-Thomas, Richtige Arbeitsweise bei der Aufarbeitung von Schichtholz: einschneiden, spalten, rücken, setzen, stapeln, und weißschneiden (Radebeul 1941)
- Mytting 2014: L. Mytting, Der Mann und das Holz: vom Fällen, Hacken und Feuermachen (Berlin 2014)
- Nenninger 2001: M. Nenninger, Die Römer und der Wald. Untersuchungen zum Umgang mit einem Naturraum am Beispiel der römischen Nordwest-Provinzen (Stuttgart 2001)
- Nies u. a. 2008: S. Nies – B. Selter – W. Stichmann, Wald und Mensch (Hagen 2008)
- Ohler 1988: N. Ohler, Reisen im Mittelalter ²(München 1988)
- Ormeling 2011: R. Ormeling, Modelling Labour in Ancient Egypt. The First Dynasty Mud Brick Fortress at Elephantine. Case study (Leiden 2011)
- Ortmeier 1995: M. Ortmeier (Hrsg.), Per Handschlag – die Kunst der Ziegler (Passau 1995)
- Patera 2006: A. Patera, Le Strutture Produttive, Rassegna di archeologia: classica e postclassica 22/B, 2006, 43–50
- Peacock 1979: D. P. S. Peacock, An Ethnoarchaeological Approach to the Study of Roman Bricks and Tiles, in: A. D. McWhirr (Hrsg.), Roman brick and tile: studies in manufacture, distribution and use in the Western Empire, BAR 68 (Oxford 1979) 5–10
- Peacock 1982: D. P. S. Peacock, Pottery in the roman world. An Ethnoarchaeological Approach (London 1982)
- Pearson 1999: A. Pearson, Building Anderita. Late Roman coastal defences and the construction of the Saxon shore fort at Pevensey, Oxford Journal of Archaeology 18, 1999, 95–117
- Pegoretti 1863: G. Pegoretti, Manuale pratico per l'estimazione die lavori architettonici, stradale, idraulici, e di fortificatione, per uso degli ingegneri ed architecti (Mailand 1863)
- Peña 1987: J. T. Peña, Roman Period Ceramic production in Etruria Tiberina: a Geographical and Compositional Study (Michigan 1987)

- Petracca – Vigna 1985: L. Petracca – L. M. Vigna, Le fornacci di Roma e suburbio, in: R. Bussi – V. Vandelli (Hrsg.), *Misurare la terra: centuriazione e coloni nel mondo romano; città, agricoltura, commercio; materiali da Roma e dal suburbio*, 1985, 131–137
- Pfannkuche 1986: B. Pfannkuche, *Handbuch der Keramikbrennöfen: Geschichtliche Entwicklung – Bauanleitungen – Brennbeschreibungen* (Köln 1986)
- Prodan 1965: M. Prodan, *Holzmeßlehre* (Frankfurt 1965)
- B. Rabold 2009: B. Rabold, *Drei Jahre Ausgrabungen im römischen Töpferei- und Ziegelei-Großbetrieb des LPL bei Stettfeld, Gde. Ubstadt-Weiher, Kreis Karlsruhe, Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2008* (2009) 138–143
- Rackham 1982: O. Rackham, *The growing and transport of timber and underwood*, in: S. McGrail (Hrsg.), *Woodworking techniques Before AD 1500*, BAR 129 (Oxford 1982) 199–218
- Radivojević – Kurtović-Folić 2006: A. Radivojević – N. Kurtović-Folić, *Evolution of Bricks and Brick Masonry in the Early History of Its Use in the Region of Today's Serbia*, *Journal of Materials in Civil Engineering* 18.5, 2006, 692–699
- Raepsaet 2008: G. Raepsaet, *Land Transport, Part2: Riding, Harnesses and Vehicles*, in: J. Oleson (Hrsg.), *The Oxford handbook of engineering and technology in the classical world* (Oxford 2008) 580–605
- Rea 1902: J. T. Rea, *How to Estimate: being the analysis of builders' prices* (London 1902)
- Recker – Schefzik 2006: U. Recker – M. Schefzik, *Wirtschaftsarchäologie: Gegenstand – Methode – Forschungsstand* in: B. Kasten (Hrsg.), *Tätigkeitsfelder und Erfahrungshorizonte des ländlichen Menschen in der frühmittelalterlichen Grundherrschaft (bis ca. 1000) : Festschrift für Dieter Hägermann zum 65. Geburtstag* (Stuttgart 2006) 267–286
- REFA 1978: *Verband für Arbeitsstudien REFA* (Hrsg.), *Methodenlehre des Arbeitsstudiums: Teil 2 Datenermittlung* (München 1978)
- Rook 1979: T. Rook, *Tiled Roofs*, in: A. D. McWhirr, *Roman brick and tile: studies in manufacture, distribution and use in the Western Empire*, BAR 68 (Oxford 1979) 295–302
- Roon 1845: A. T. E. von Roon, *Grundzüge der Erd- Völker- und Staatenkunde Ein Leitfaden für höhere Schulen u. den Selbstunterricht*. 3.2 (Berlin 1845)
- Rossi 2016: M. Rossi, *Scelta, lavorazione e messa in opera die laterizi nell'asedra sud occidentale delle Terme di Traiano*, in: E. Bukowiecki – R. Volpe – U. Wulf-Rheidt (Hrsg.), *Archeologia dell'Architettura, XX, 2015 – Il laterizio nei cantieri cantieri imperiali, Roma e il Mediterraneo: atti del 1 workshop « Laterizio », Roma, 27–28 novembre 2014* (Florenz 2016) 31–37

- Rupp – Friedrich 1988: E. Rupp – G. Friedrich, Die Geschichte der Ziegelherstellung (Bonn 1988)
- Schaller 1828: P. Schaller, Der wohlunterrichtete Ziegler (Weimar 1828)
- Schenk 2011: W. Schenk, Historische Geographie (Darmstadt 2011)
- Schmitz 2002: D. Schmitz, Militärische Ziegelproduktion in Niedergermanien während der römischen Kaiserzeit, KölnJB 35, 2002, 339–374
- Schmitz 2004: D. Schmitz, Die gestempelten Ziegel des römischen Köln, KölnJB 37, 2004, 223–447
- Schober 1975: R. Schober, Ertragstabeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung (Frankfurt 1975)
- Schönauer 1815: J. N. Schönauer, Praktische Darstellung der Ziegelhüttenkunde (Salzburg 1815)
- Schrader 1997: M. Schrader, Mauerziegel als historisches Baumaterial (Sudenburg-Hörsingen 1997)
- Schriewer 1995: K. Schriewer, Waldarbeiter in Hessen. Kulturwissenschaftliche Analyse eines Berufsstandes (Marburg 1995)
- Schroll 2014: E. Schroll. (Hrsg.), Holzrücken mit Pferden (Lemgo 2014)
- Schwarz 2014: R. Schwarz, Römische Ziegelei an der Saalburg in der Praxis nachvollzogen. Experimentelle Archäologie in Europa. Bilanz 2014, EXAR 13, (Unteruhldingen 2014), 83–95
- Schwartz 1989: E. Schwartz, Arbeits- und Lebensbedingungen der Waldarbeiter im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Deutschland (Groß-Umstadt 1989)
- Schwickert – Fischer 1996: A. C. Schwickert – K. Fischer, Der Geschäftsprozess als formaler Prozess – Definition, Eigenschaften, Arten. (Gießen 1996)
- Scrinari 1983: V. S. M. Scrinari, Il laterano e le fornaci di epoca imperiale, in: Città e architettura nella Roma imperiale: atti del seminario del 27 ottobre 1981 nel 25o anniversario dell'Accademia di Danimarca (Odense 1983) 203–218
- Seele 2012: E. Seele, Traditionelles Ziegelhandwerk im Hochland von Mexiko: Eine Studie und eine Dokumentation über die Verbreitung, die geographischen Grundlagen und die Strukturen an einigen Fallbeispielen aus den Bundesstaaten Puebla und México (Tutzing 2012)
- Seidensticker 1886: A. Seidensticker, Waldgeschichte des Alterthums: Ein Handbuch für akademische Vorlesungen etc. (Frankfurt a. d. Oder 1886)
- Selter 1995: B. Selter, Waldnutzung und ländliche Gesellschaft: landwirtschaftlicher ‚Nährwald‘ und neue Holzökonomie im Sauerland des 18. und 19. Jahrhunderts (Paderborn 1995)

- Shirley 2000: E. Shirley, *The construction of the Roman legionary fortress at Inchtuthil* (Oxford 2000)
- Shirley 2001: E. Shirley, *Building a Roman Legionary Fortress* (Tempus 2001)
- Spitzlberger 1983: G. Spitzlberger, *Römische Ziegel und Ziegeleien in Niederbayern*, LGA-Rundschau 83.4, 1983, 121–127
- Stangl 2011: G. Stangl, *Der Holzverbrauch in der Antike als Teil des ökologischen Fußabdrucks*, in: Scherrer S. (Hrsg.), *Lignum – Holz in der Antike. Akten des öffentlichen interdisziplinären Symposiums 5.–7. November 2009* (Graz 2011) 73–86
- Steinby 1977: E. M. Steinby, *La cronologia delle figlinae doliari urbane : dalla fine dell'eta repubblicana fino all'inizio del III sec.* (Spoleto 1976)
- Steinby 1979: E. M. Steinby, *La produzione laterizi*, in : F. Zevi (a cura di) *Pompei 79, Raccolta di studi per il decimonono centenario dell' eruzione vesuviana* (Neapel 1979) 265–271
- Steinby 1986: E. M. Steinby, *L'industria laterizia di Roma nel Tardo Impero*, in: A. Giardina (Hrsg.), *Societa romana e impero tardoantico II. Roma: politica, economia, paessagio urbano* (Rom 1986) 99–164
- Steinby 1993: E. M. Steinby, *L'organizzazione produttiva di laterizi. Un modello interpretativo per l'instrumentum in genere?* in: W. V. Harris (Hrsg.), *The Inscribed Economy. Production and Distribution in the roman empire ... JRA Suppl. 6*, 1993, 139–143
- Steinlin 1979: H. Steinlin, *Die Holzproduktion der Welt – ökologische, soziale, und ökonomische Aspekte, Holz als Rohstoff in der Weltwirtschaft. Internationaler Kongress im Rahmen der INTERFORST 1978 in München. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* (Münster-Hiltrup 1979) 14–44
- Stoppioni 1998: M. L. Stoppioni, *Le fornaci del territorio riminese*, in: *Le fornaci romane : produzione di anfore e laterizi con marchi di fabbrica nella Cispadana orientale e nell'Alto Adriatico; atti delle giornate internazionali di studio* (Rimini, 9–11 ottobre 1993) = *Fornaci romane*, (Rimini 1998), pp. 153–155
- Tilbur 2007: C. van Tilbur, *Traffic and congestion in the Roman Empire* (London 2007)
- Tomašević-Buck 1982: T. Tomašević-Buck, *Die Ziegelbrennöfen der Legio I Martia in Kaiseraugst/AG und die Ausgrabungen in der Liebrüti 1970–1975* (Augst 1982)
- Trimpert 2003: H. A. Trimpert, *Die römischen Ziegeleien in Rheinzabern „Fidelisstrasse“; mit Studien zum römischen Ziegeleiwesen in den germanischen Provinzen und Raetien* (Speyer 2003)
- Vitruv 1964: Vitruv, *Zehn Bücher über die Architektur* übersetzt von C. Fensterbusch (Darmstadt 1964)

- Wagner 1891: M. Wagner, Die Arbeiterverhältnisse in den preußischen Staatsforsten, in: Jahrbuch für Gesetzgebung, Verwaltung und Volkswirtschaft im Deutschen Reich (Leipzig 1891) 759–815
- Warry 2006: P. Warry, Tegulae: manufacture, typology and use in Roman Britain, BAR 417 (Oxford 2006)
- Weber 1925: H. Weber (Hrsg.), Handbuch der Forstwissenschaft: in 4 Bänden (Berlin 1925)
- Weber 1950: H. Weber, Der Forstbetriebsdienst (München 1950)
- White 1984: K. D. White, Greek and Roman Technology (London 1984)
- Wilson 1861: D. Wilson, Prehistoric man: researches into the origin of civilisation in the Old and new Worlds (Edinburgh 1861)
- Young 1968: C. J. Young, Brickmaking at Broadmyne, Proc. Dorset nat. Hist. And Arch. Soc 89, 1968, 318–324

16.2 Internetquellen

16.2.1 Online-Publikationen

austroflamm 2016a:

austroflamm, Probleme mit dem Kaminofen: Phasen der Holzverbrennung <<https://www.austroflamm.com/lexikon/>> (25.04.2016)

austroflamm 2016b:

austroflamm, Heizen mit Holz <<https://www.austroflamm.com/lexikon/>> (25.04.2016)

Brockhaus 2017a:

<<https://uni-koeln.brockhaus.de/enzyklopaedie/betrieb-arbeitsrechtlich>> (14.05.2017)

Brockhaus 2017b:

<<https://uni-koeln.brockhaus.de/enzyklopaedie/modell-wirtschaftswissenschaften>> (14.05.2017)

Eurobaustoff 2018:

<<https://www.eurobaustoff.de/bauen-wohnen-leben/profi-informationen/baumaterialien/steine-und-mauern/steinformate-von-mauersteinen-und-plansteinen/>> (16.08.2018)

G. Hänel 1842:

Codex Theodosianus

<<http://reader.digitale-sammlungen.de/resolve/display/bsb10520003.html>> (12.04 2017)

Hessenmöller u. a. 2012:

D. Hessenmöller D. Fritzlar – E.-D. Schulze., Die Buchenplenterwälder in Thüringen, AFZ-Der Wald, 2012, 4–7 <http://franzjosefadrian.com/wp-content/uploads/2014/05/2012-AFZ_Hessenm%C3%B6ller-Plenterwald-korr.pdf> (20.04.2016)

Immenkamp 2009:

A. Immenkamp, Römische Ziegelproduktion im Experiment, <<http://www.archaeologie-online.de/magazin/nachrichten/roemische-ziegelproduktion-im-experiment-7627/>> (18.02.2015)

Immenkamp 2011a:

A. Immenkamp, Römischer Ziegelbrand brachte hohe Leistung und gute Qualität <<http://www.archaeologie-online.de/magazin/nachrichten/roemischer-ziegelbrand-brachte-hohe-leistung-und-gute-qualitaet-17670/>> (18.02.2015)

Immenkamp 2011b:

A. Immenkamp, Zweiter Brand im römischen Ziegelofen in Lage, <<http://www.archaeologie-online.de/magazin/nachrichten/zweiter-brand-im-roemischen-ziegelofen-in-lage-17102/>> (18.02.2015)

Kerig 2017:

T. Kerig, Das Kölner Tableau, Version 12/15, <<http://www.wirtschaftsarchaeologie.de/wp-content/uploads/2017/08/K%C3%B6Ta-2015.pdf>> (03.12.2017)

Nagel 2017:

J. Nagel, Script Waldmesslehre, Fassung 27. Juni 2001, <<https://www.yumpu.com/de/document/view/4720915/wamelpdf/7>> (17.08.2018)

Peña 1987:

J. T., Peña, Roman Period Ceramic Production in Etruria Tiberina: A Geographical and Compositional Study. (Volumes I and II) Abstract, <https://www.researchgate.net/publication/35929571_ROMAN-PERIOD_CERAMIC_PRODUCTION_IN_ETRURIA_TIBERINA_A_GEOGRAPHICAL_AND_COMPOSITIONAL_STUDY_VOLUMES_I_AND_II_ITALY_PETROGRAPHIC_KILN> (27.03.2018)

Schwanzar 2004:

C. Schwanzar, Der römische Ziegelbrennofen von Fraham, <http://www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/JOM_149a_0223-0254.pdf> (03.06.2015)

Sieferle 2006:

R. P. Sieferle, Das Ende der Fläche (Köln Weimar Wien 2006), <<https://www.degruyter.com/viewbooktoc/product/437437>> (14.05.2017)

Speiser 1996:

D. Speiser (Hrsg.), Die Werke von Daniel Bernoulli Band 1 (Basel 1996) <<https://books.google.de/books?id=06duXK6ZUBEC&pg=PR22&lpg=PR22&dq=pollex+mass+einheiten&source=bl&ots=MEOCpuGVTX&sig=Rz3lQNstouXFP2LBdCCpUWynNm c&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwjQgPSj74LSAhWJ7xQKHYZqDi8Q6AEIITAB#v=onepage&q=pollex%20masseinheiten&f=false>> (09.02.2017)

Teufel 2003:

T. Teufel, SAP Business One prozessorientiert anwenden, <https://books.google.de/books?id=kKB1OQDmT1cC&pg=PA66&lpg=PA66&dq=prozesstrigger&source=bl&ots=VqnYw_OKFh&sig=0jndPYRhzm02N3CsmB1slhG83tc&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwj254vyws_MAhVMmBoKHXtkAG0Q6AEIKDAB#v=onepage&q=prozesstrigger&f=false> (12.05.2017)

J. Weber,

Prozesskostenrechnung, Gabler Wirtschaftslexikon, <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/prozesskostenrechnung.html?referenceKeywordName=Kostentreiber>> (03.03.2015)

16.2.2 Links

Gabler-Wirtschaftslexikon:

<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/2738/aktivitaet-v6.html>> (01.06.2017)

<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/326/betrieb-v15.html>> (14.05.2017)

<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4404/betriebsmodell-v8.html>> (14.05.2017)

<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/495/modell-v11.html>> (14.05.2017)

<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/branche.html#definition>> (20.09.2016)

<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/produktionsfaktoren.html>> (01.06.2017)

<<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/preis-46701>> (09.05.2019)

<<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/preisbildungsmodelle-43058>> (09.05.2019)

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

<<http://gutenberg.spiegel.de/buch/nikomachische-ethik-2361/3>> (12.09.2016)

- <<http://refa-consulting.de/vergleichen-und-schaetzen>> (14.04.2017)
- <<http://sizes.com/units/toise.htm>> (17.05.2016)
- <http://soziologie-kompakt.de/w/Soziales_Handeln> (31.05.2017)
- <<http://www.austroflamm.com/de/Lexikon/Heizen-mit-Holz/>> (25.04.2016)
- <<http://www.bialowieza-info.eu/de/galerie.php>> (05.10.2017)
- <<http://www.bio-ethanol-kaminofen.de/heizwerte/brennwert.php>> (25.10.2016)
- <<http://www.biomass-center.com/olivenkerne.htm>> (25.10.2016)
- <<http://www.business-wissen.de/hb/abc-analyse-am-beispiel-erklaert/>> (20.09.2016)
- <<http://www.chemie.de/lexikon/Keramik.html>> (23.01.2017)
- <<http://www.duden.de/rechtschreibung/Rekonstruktion>> (14.05.2017)
- <<http://www.enzyklo.de/Begriff/Verkehrsarbeit>> (03.04.2018)
- <<http://www.forst-rast.de/pflrechner05.html>> (15.08.2017)
- <<http://www.heizung-direkt.de/UEBERSHO/brennwert.htm>> (04.11.2015)
- <<http://www.heu-heu.de/stroh/mini-kleine-und-grosse-strohballen/>> (17.03.2017)
- <http://www.imperiumromanum.com/wirtschaft/masse/masse_04.htm> (01.11.2017)
- <<http://www.kaminholz-wissen.de/gewicht-von-holz-dichte.php>> (21.03.2017)
- <<http://www.kaminholz-wissen.de/gewicht-von-holz-dichte.php>> (24.10.2016)
- <<http://www.koeblergerhard.de/Fontes/CodexTheodosianus438.htm> THEODOSIANI
LIBRI XVI> (18.01.2018)
- <<http://www.kwf-online.de/index.php/kontakt>> (10.05.2016)
- <<http://www.lehmbaukontor.de/pages/lehmbauweisen/maschinen-im-lehmbau.php>>
(14.10.2015)
- <[http://www.linke-buecher.de/texte/romane-etc/Aristoteles--Nikomachi-
sche%20Ethik.pdf](http://www.linke-buecher.de/texte/romane-etc/Aristoteles--Nikomachi-sche%20Ethik.pdf)> 6-7 (01.06.2017)
- <<http://www.mollet.de/info/schuettgutdichte.html>> (14.02.2017)
- <[http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/schiffs-experiment-segeln-wie-die-ro-
mer-a-1134420.html](http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/schiffs-experiment-segeln-wie-die-roemer-a-1134420.html)> (08.06.2018)
- <[http://www.tomchemie.de/Mathe/11/11.5%20Brennwert%20und%20Heiz-
wert%20\(DIN%205499\).htm](http://www.tomchemie.de/Mathe/11/11.5%20Brennwert%20und%20Heizwert%20(DIN%205499).htm)> (12.07.2017)
- <<http://www.wald.de/was-ist-totholz-wie-viel-braucht-der-wald-davon/>> (05.10.2017)
- <<http://www.wald-prinz.de/brusthohendurchmesser-bhd-vs-mittendurchmesser/3652>>
(20.04.2016)
- <<http://www.wald-prinz.de/festmeter-raummeter-schuttraummeter-co/551> 15.08.2017
- <<http://www.waldwissen.net/technik>> (16.02.2018)

- <http://www.waldwissen.net/technik/holzernte/arbeit/bfw_arbeitszeit_holzernte/index_DE> (20.04.2016)
- <http://www.waldwissen.net/technik/holzernte/arbeit/fva_pferde_seilschlepper/index_DE> (20.04.2016)
- <http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lwf_produktion_scheitholz/index_DE> (14.03.2018)
- <<http://www.wikiwand.com/de/Klafter>> (19.05.2018)
- <<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/industrial-engineering/industrial-engineering.htm>> (01.06.2017)
- <<http://www.woerterbuchnetz.de/DWB?lemma=leseholz>> (06.10.2017)
- <<http://www.zeitspurensuche.de/04/trei1.htm>> (26.08.2017)
- <<http://www.ziegelei-museum.ch/geschichte/ziegeleiareal/Lehmstich>> (01.10.2014)
- <<http://www.ziegeleimuseum-westerholt.de/funktion---betrieb.html>> (08.7.2017)
- <<https://agrarheute.landlive.de/boards/thread/9328/page/1/>> (18.03.2017)
- <<https://mindsquare.de/knowhow/sap-business-process-management/>> (14.06.2018)
- <<https://opensource.org/docs/osd>> (18.01.2018)
- < <https://refa-consulting.de/ruesten>> (15.06.2016)
- <<https://web.archive.org/web/20141104155749/http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-20-scheitholz.pdf>> (12.08.2015)
- <<https://www.convertworld.com/de/geschwindigkeit/knoten.html>> (19.05.2018)
- <<https://www.energie-lexikon.info/heizwert.html>> (02.08.2017)
- <<https://www.gammel.de/de/lexikon/heizwert---brennwert/4838>> (25.10.2016)
- <<https://www.grund-wissen.de/physik/waermelehre/ausbreitung-von-waerme.html>> (18.04.2018)
- <<https://www.projektmagazin.de/glossarterm/arbeit>> (09.04.2018)
- <<https://www.timeanddate.de/sonne/deutschland/koeln>> (14.05.2018)
- <<https://www.timeanddate.de/sonne/italien/rom>> (14.05.2018)
- <<https://www.unitjuggler.com/energy-umwandeln-von-J-nach-Wh.html?val=1000>> (03.05.2018)
- <<https://www.wetter.de/klima/europa/italien/rom-s99000052.html>> (02.02.2018)
- <https://www4.informatik.uni-erlangen.de/DE/Lehre/WS04/V_PA/Skript/Kap1.ppt.pdf> (14.06.2018).
- <www.google.de/maps> (06.02.2018)

16.3 Korrespondenz/lokale Recherchen/Vorträge

16.3.1 Korrespondenz

Bönisch 2015/6: Telefonate und Korrespondenz mit Holger Bönisch Beilrode, Zwethau im Dezember 2015 und Januar 2016

Immenkamp 2016/7: Besuche, Interviews und Korrespondenz Dr. Andreas Immenkamp, Dortmund Leiter LWL Industriemuseum Lage 2016 und 2017

Keller 2015: Besuch und Interview Herrn Keller, Ziegelmeister LWL Industriemuseum Lage, Fragen zum Versuchsofen Dormagen 17.05.2015

Kroymann 2016: Besuche, Interviews und Korrespondenz Edgar Kroymann, Landesbetrieb Wald und Holz NRW RFA Hocheifel-Zülpicher Börde, Forstbeamter Januar bis März 2016

Pinter 2011: U. Pinter, Antworten zur Produktion der *tegulae* und *imbrices* für Xantener Handwerkerhäuser, Brief an Dr. Kienzle Xanten; dieser wurde dem Verfasser von Dr. Kienzle zur Verfügung gestellt.

Ruppert 2016: Telefonat mit Herrn Ruppert, Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik am 10.05.2016

Schäfer 2018: Gespräch mit Prof. Schäfer im Rahmen des ICCA Kongress Archaeology and Economy in the Ancient World Cologne/Bonn am 23.05.2018

16.3.2 Lokale Recherchen

Hümmel 2017: Besuch Laubwald Hümmel Ldkrs. Ahrweiler – Eifel 50°28,5067‘ 6°45,5412‘ 19.03.2017, eigene Beobachtungen

Lage 2016: Besuch LWL Museum Lage, Brennversuch Feldbrand 19.06.2016, eigene Beobachtungen

Reisigbündeler 2016: Gespräch mit einem Reisigbündeler am 26.02.2016 im Revier des Forstamtes Rheinbach (in Begleitung von Kroymann, Landesbetrieb Forst und Holz NRW RFA Hocheifel-Zülpicher Börde)

16.3.3 Vorträge

Schenk 2017: W. Schenk, Vortrag: Einführung in die Historische Geographie 12.05.2017 im GRAKO Archäologie vormoderner Wirtschaftsräume, Bonn, 2017

Wulf-Rheidt 2016: U. Wulf-Rheidt, Vortrag „Ziegel für den Kaiser. Der römische Kaiserpalast auf dem Palatin als logistische Meisterleistung“, Arch. Inst. Uni Köln 05.07.2016