

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.

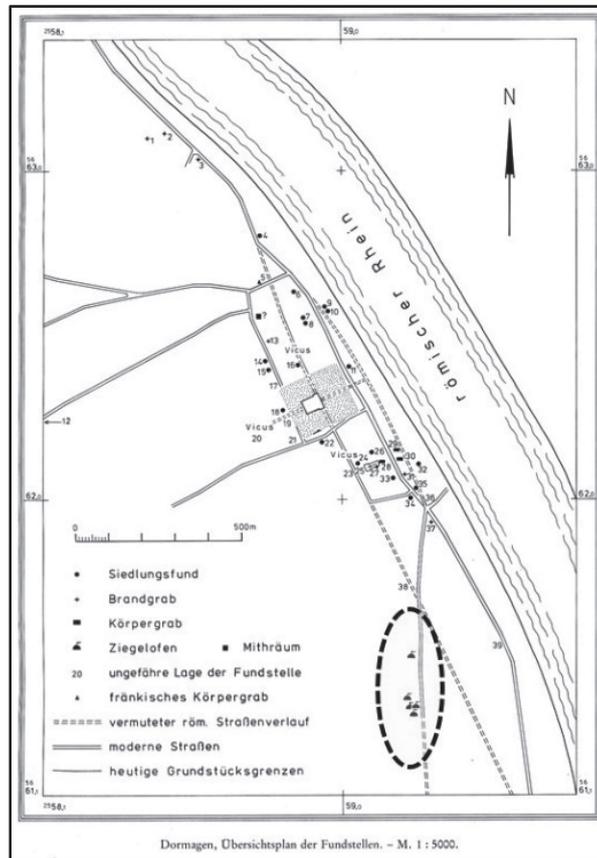


Abbildung 18 Dormagen, Übersicht der Fundstellen (Ziegeleibereich markiert) (Müller 1979a)

¹⁹⁰ Müller 1979a, 13.

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

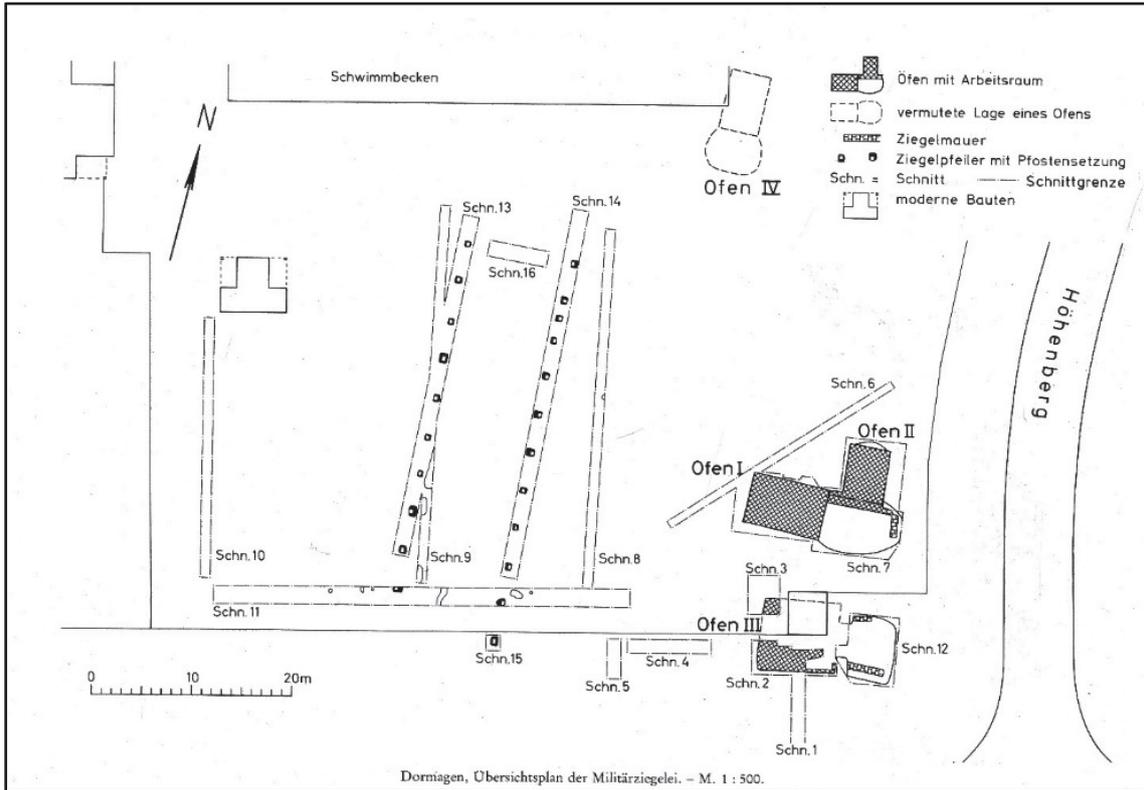


Abbildung 19 Übersichtsplan der Militärziegelei (Müller 1979a)

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:

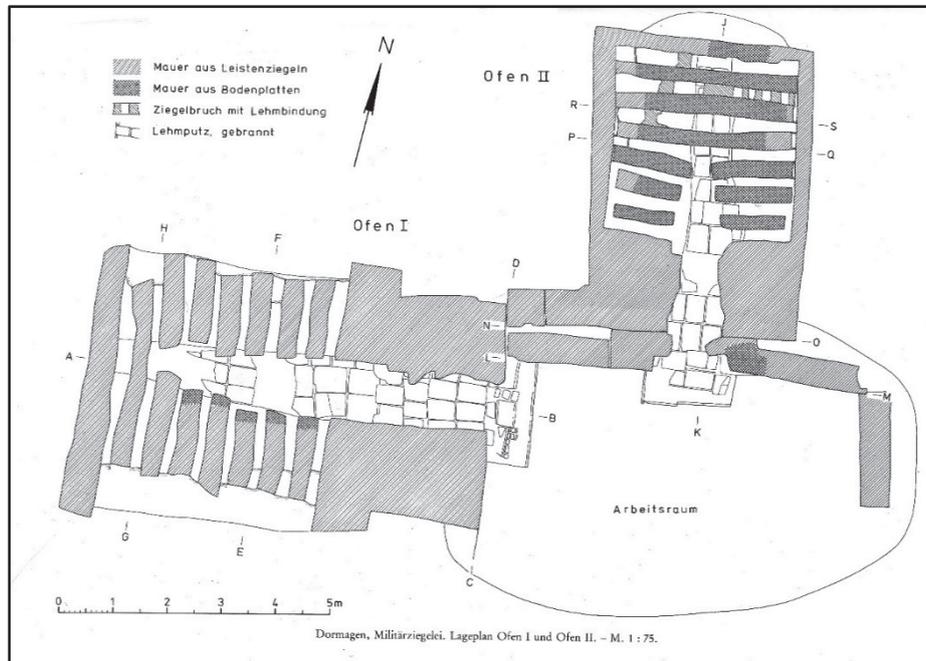


Abbildung 20 Dormagen, Militärziegelei. Lageplan Ofen I und Ofen II (Müller 1979a)

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

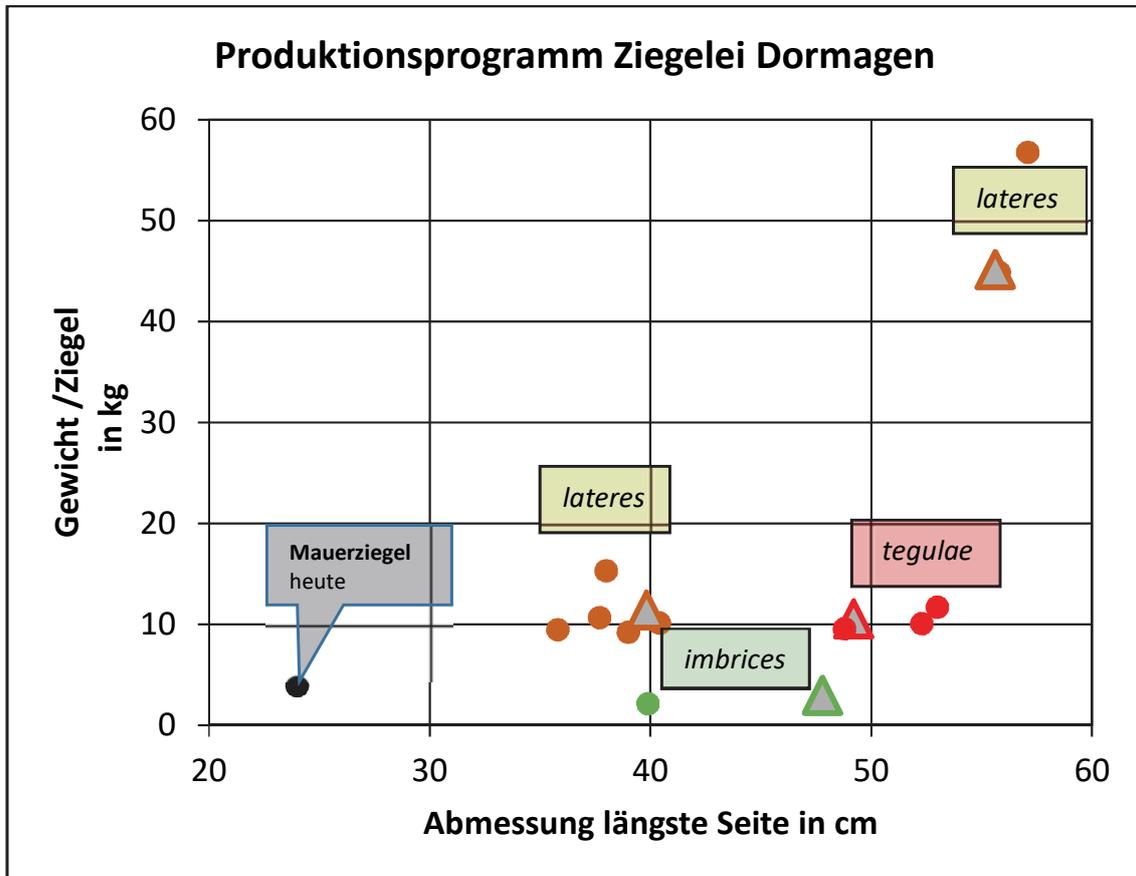


Abbildung 21 Produktionsprogramm Ziegelei Dormagen – Auswertung der Befunde

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
Formerarbeiten	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:

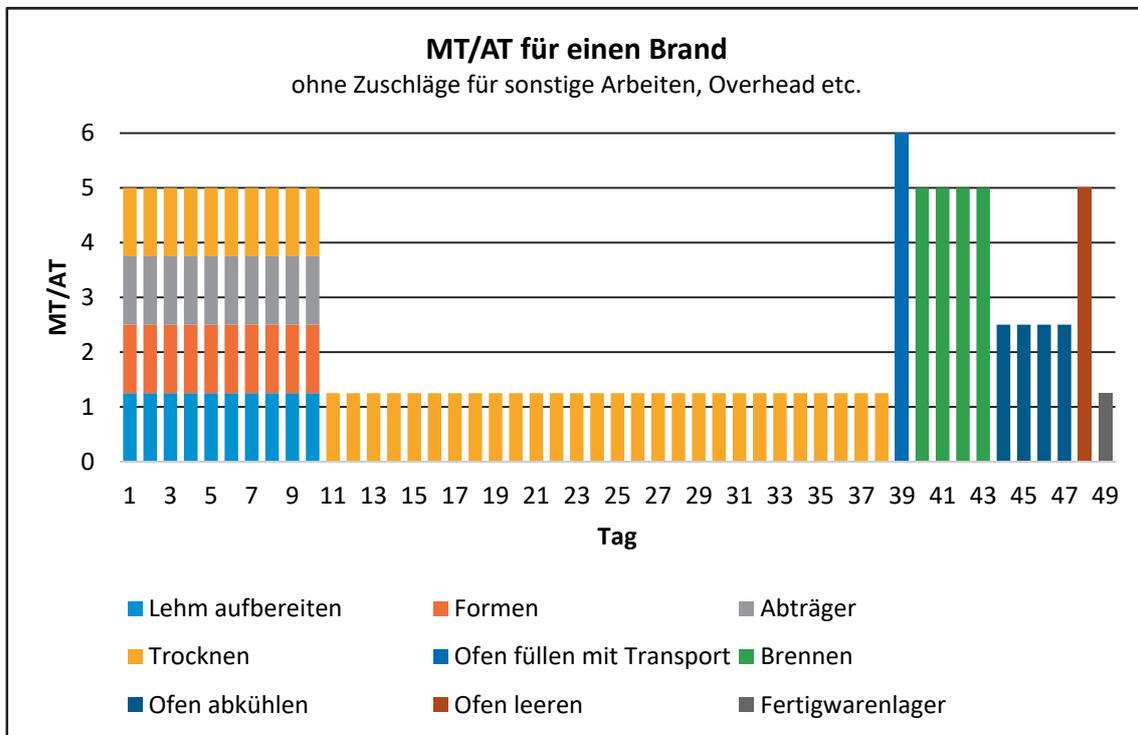


Abbildung 22 Anzahl MT je AT für den ersten Brand

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 ersten Charge der Personalbedarf ansteigt; bis auf 11,25 MT/AT während des Brennens:²⁰⁷

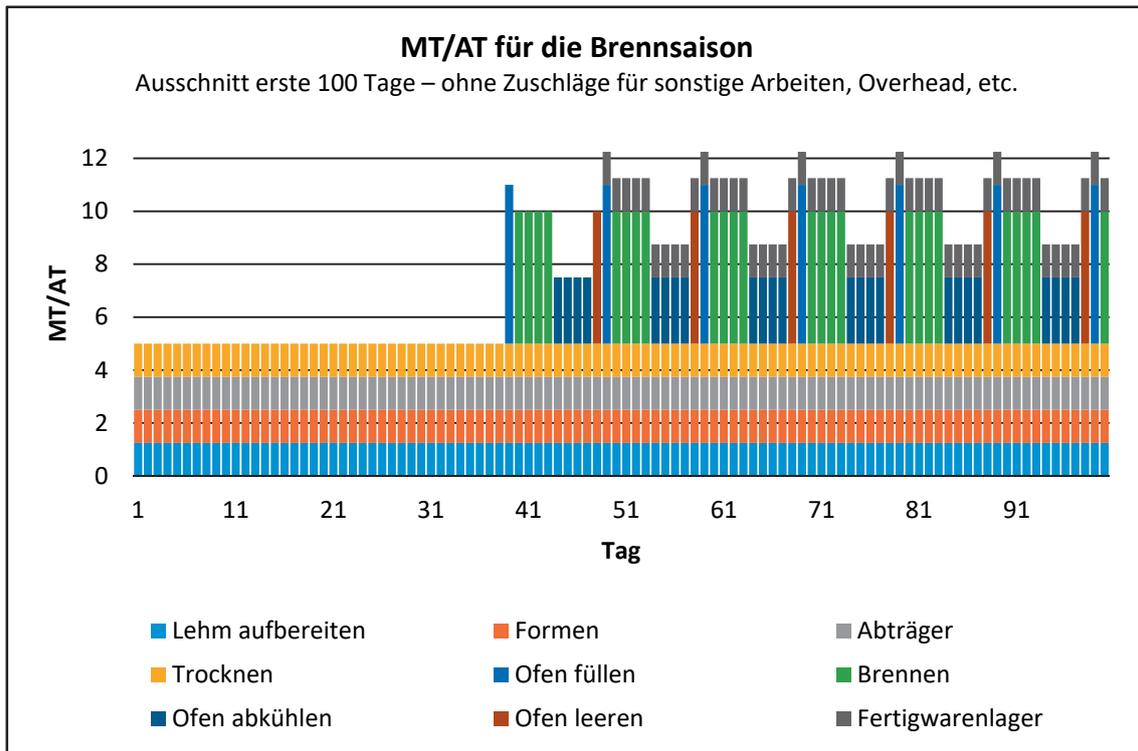


Abbildung 23 Anzahl MT je AT

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.

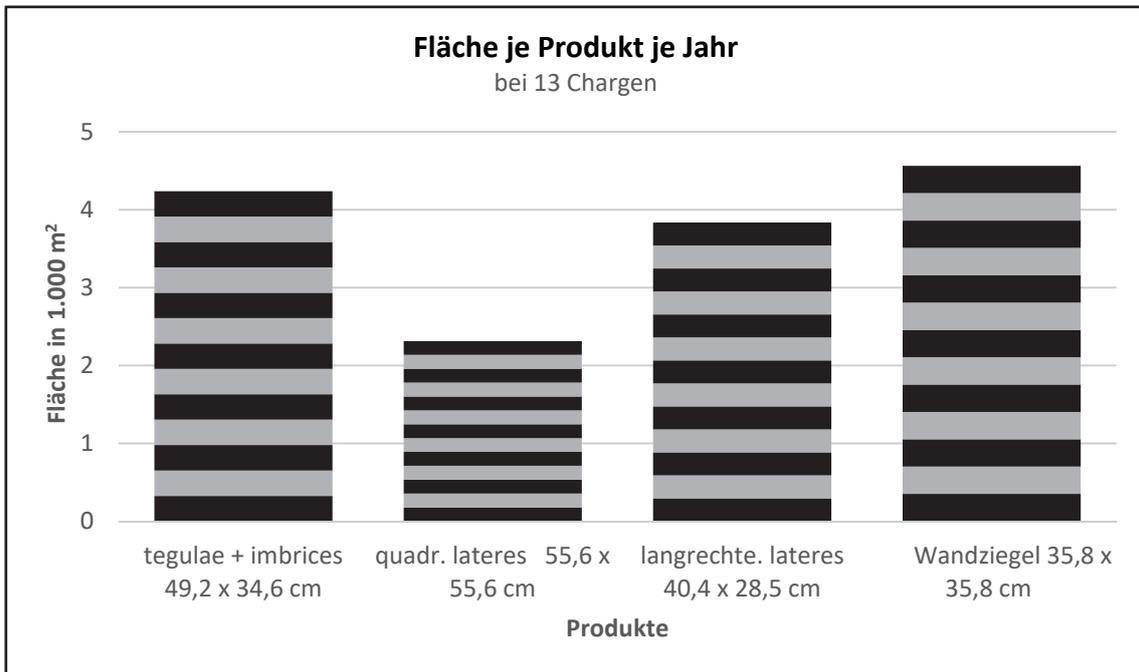


Abbildung 24 Maximalmengen je Jahr und Ziegeltyp in m² Ziegelfläche

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:

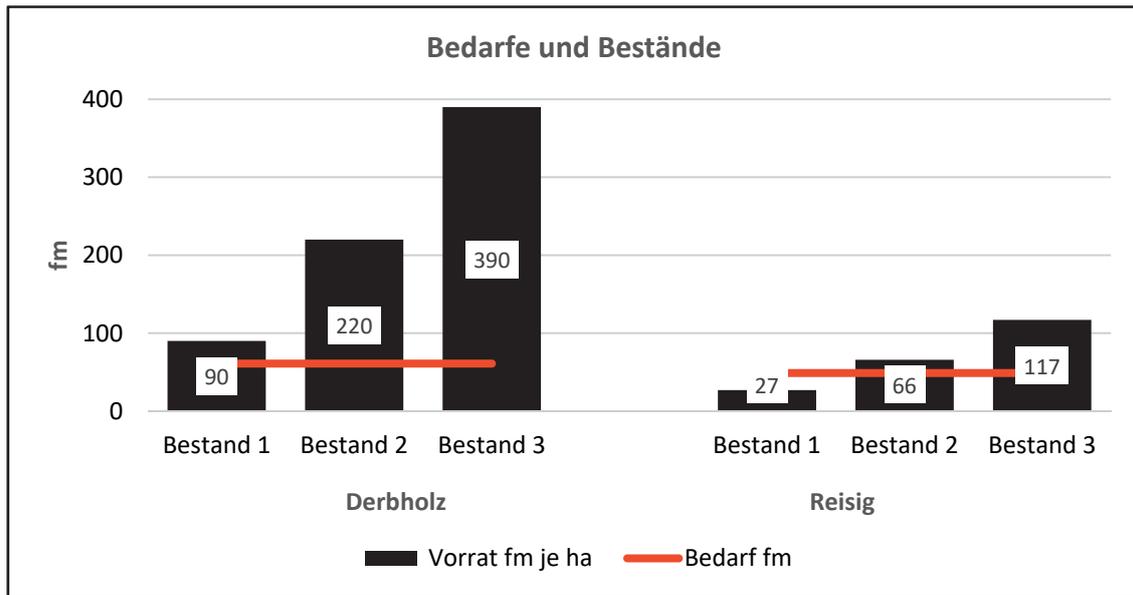


Abbildung 25 Bedarfe und Bestände an Derbholz und Reisig

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 vereinfachenden 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 kg^{216} (= 0,7 rm Scheitholz bzw. 1,5 rm Reisig)
 - Anzahl benötigter Fahrten bei 300 kg je Fahrt: Derbholz: 157; Reisig: 127; Summe: 284
 - Transportzeit: $426 \text{ h} + \text{Rückfahrt: } 426 \text{ h} = 852 \text{ h}$
 - Mh bei Begleitung des Fahrzeuges mit 1 Mitarbeiter: 852 Mh
 - Mh für Be- und Entladen mit je $1,6 \text{ t/Mh}$: $2 \times 85 \text{ t} / 1,6 \text{ t/Mh} = 106 \text{ Mh}$
 - 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.

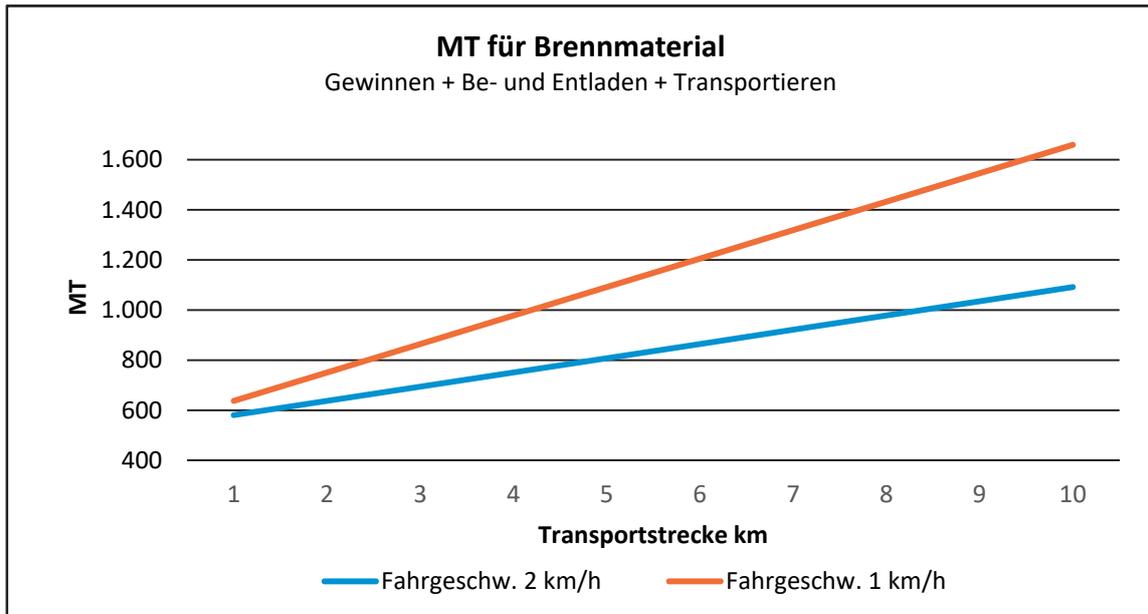


Abbildung 26 Aufwand für Brennmaterial in Abhängigkeit von Transportweg und -geschwindigkeit²¹⁹

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 Begrädnung 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.

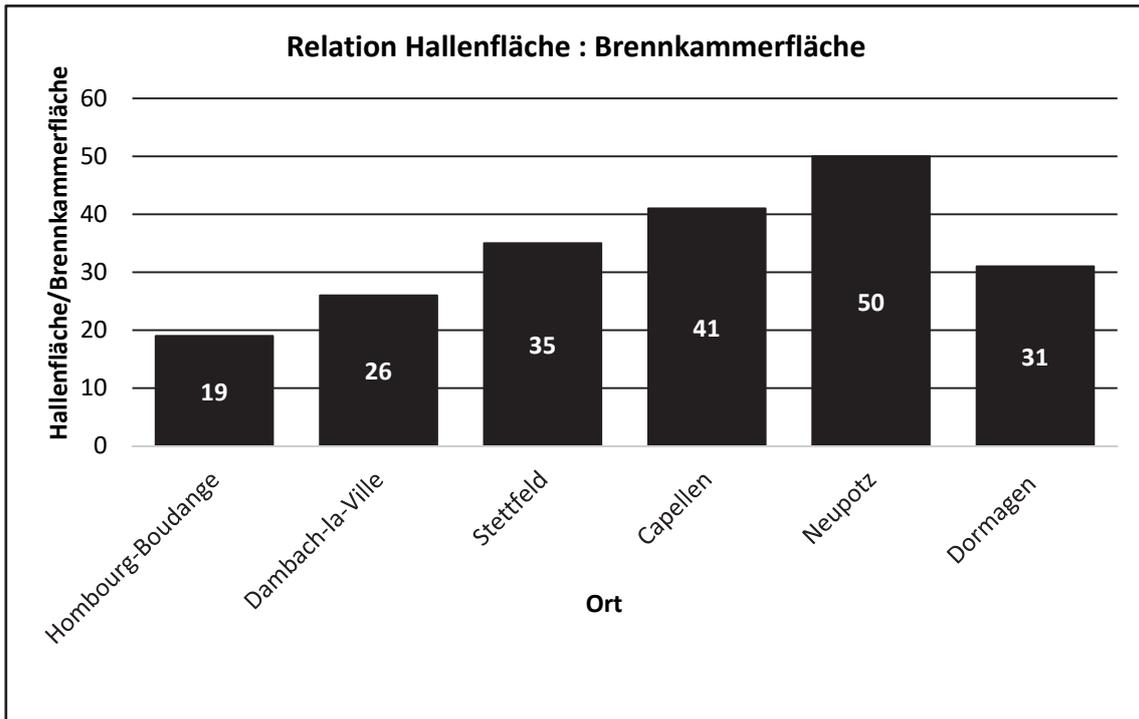


Abbildung 27 Relation Hallen- zu Brennkammerflächen nach Charlier

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 Vollauslastung 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

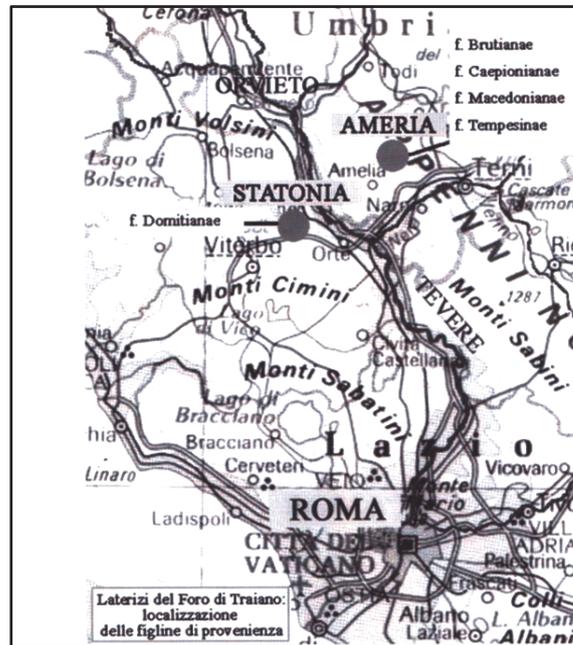


Abbildung 28 Geographische Lokalisierung der Ziegel-*figlinae* für das Trajan Forum (Bianchi 2004)

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 Mengemix 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: $31.060 \text{ t} \times 89 \text{ km}$
 $= 2,8 \text{ Mio t*km}$

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.

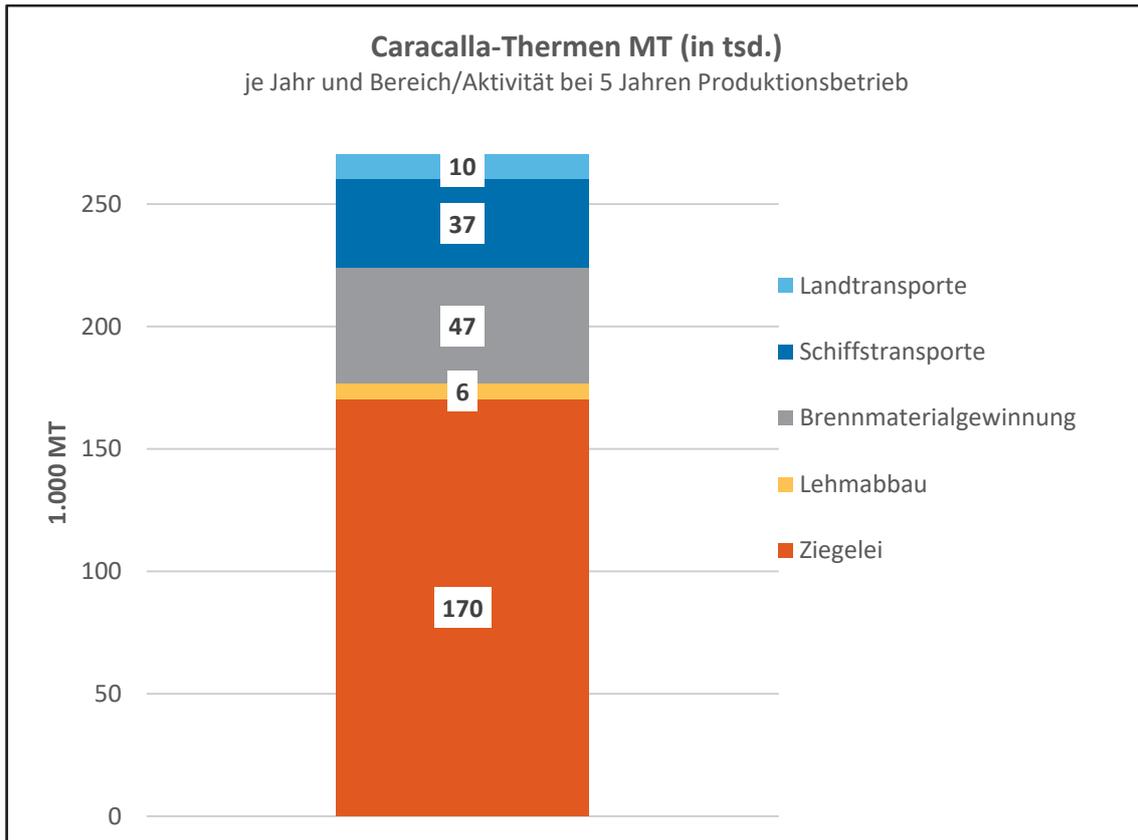


Abbildung 29 Anteile der Aktivitäten am jährlichen Personalbedarf für die Ziegelherstellung für die Caracalla-Thermen²⁸⁸

²⁸⁸ ohne Lehm- und Brennmaterialtransporte.