

Römische Heizsysteme und ihr Verbrauch – Wie viel Wald frisst die Heizung einer römischen Stadt?

Hannes Lehar

Zusammenfassung – Holz als Brennmaterial war in der Antike der kalorische Energieträger Nummer eins und deshalb diente es auch für Heizzwecke. Während eines Forschungsprojekts über römische Hypokaustheizungen erfolgte unter anderem die Berechnung des Wärmebedarfs verschiedener römischer Gebäudetypen (Wohnhäuser, Villen oder Thermen). Basierend auf dieser Kalkulation ist der jeweilige Heizmaterialverbrauch für eine Heizperiode ermittelt worden. Dieser Bedarf konnte je nach Möglichkeit mit Holz oder Holzkohle gedeckt werden.

Interessanterweise tendierte die archäologische Forschung bis 1950/60 vor allem bei Hypokaustheizungen zur Annahme der Verwendung von Holzkohle zur Wärmeerzeugung, danach jedoch wurde zu diesem Zweck überwiegend die Verwendung von Holz favorisiert. Auch deshalb ist eine Beurteilung und Überprüfung beider Materialien notwendig geworden.

Anhand des ermittelten Verbrauchs, der oben genannten einzelnen Haustypen, wurde der Gesamtverbrauch für die Hypokaustheizungen der Zivilstadt von Carnuntum (Österreich) hochgerechnet. Daraus ergab sich nicht nur eine Waldfläche, die (unterschiedlich) bei einer Verbrennung von Holz oder Holzkohle geschlägert werden musste, sondern auch die Zahl der benötigten Transportmittel sowie der in der Stadt beanspruchten Lagerfläche. Abschließend ist der Bedarf für andere Heizungsarten und für das Kochen geschätzt worden. Obwohl die Energie, die für technische Prozesse benötigt wurde, hier nicht berücksichtigt werden konnte, wird nachvollziehbar, warum z. B. der Waldbestand Baden-Württembergs nach nur rund 200 Jahren römischer „Bewirtschaftung“ von 100 % wohl auf etwa 40 % zurückging.

Schlüsselwörter – Römerzeit, Österreich, Carnuntum, Römische Heizungen, Holz versus Holzkohle, Wärmeerzeugung, Energiebedarf

Mit der Ausdehnung des Römischen Reichs über die Alpen gelangten die Römer in Gebiete, in denen im Winter permanent für Wärme in den Behausungen gesorgt werden musste. Dafür standen ihnen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung: offenes Holzfeuer, Holzkohle in Metallbecken (sog. Kohlebecken) oder Holzkohle (evtl. Holz) in Nischenöfen und natürlich auch Hypokaustheizungen (**Abb. 1 und 2**).

Sowohl die Wärmeleistung als auch die Behaglichkeit wären für unsere heutigen Begriffe nur bei der Hypokaustheizung vergleichsweise befriedigend. Die Wärme wurde dabei über den Boden verteilt im ganzen Raum abgegeben¹, und der Rauch der Heizstelle blieb im Hypokaust und in dessen Abzügen. Alle anderen oben genannten Möglichkeiten gaben nur in ihrer unmittelbaren Umgebung Wärme ab, im Rest des Raumes blieb es eher kalt. Als Nebeneffekt kamen, außer bei der Fußbodenheizung, trotz der Zufuhr der für die Verbrennung notwendigen (kalten) Frischluft die Abgase (Rauch, CO₂, CO) dazu, die die Luftqualität im Raum verschlechterten, bevor sie sich einen Weg ins Freie suchten – meist durch undichte Dächer oder aber durch dafür vorgesehene Öffnungen². Rauchabzüge aus *tubuli* waren zwar bei Hypokaustheizungen Standards, für die anderen Heizungsarten sind Schornsteine – auch dort, wo sie technisch möglich wären – aber kaum nachweisbar³. Von einer Raumheizung in unserem Sinn kann man bei diesen oben genannten Wärmemöglichkeiten nicht sprechen, sie machten lediglich den Aufenthalt in den Räumen erträglich.

In diesem Beitrag wird versucht, am Beispiel der Zivilstadt von *Carnuntum* zumindest annähernd den Verbrauch von Brennmaterial für die Beheizung bzw. die Erwärmung der Gebäude in einem Winter zu ermitteln. Basis ist eine Schätzung der Bebauung von *Carnuntum* in der Severerzeit durch A. Konecny⁴, der von ca. 600 Häusern unterschiedlicher Bauart mit verschiedenen Heizungsarten ausgeht. Hiervon dürfte nur ca. ein Drittel über Hypokaustheizungen verfügt haben, die restlichen zwei Drittel (ca. 400) verfügten lediglich über eine der genannten drei anderen Möglichkeiten.

Für die folgenden Berechnungen werden nur die Häuser mit Hypokaustheizung berücksichtigt: Herangezogen werden beispielhaft drei in *Carnuntum* freigelegte und wieder aufgebaute Häuser sowie eines aus Homburg-Schwarzenacker, das großteils nur virtuell rekonstruiert wurde, aber so, oder in ähnlicher Form auch in *Carnuntum* vermutet werden kann. Diese Bauten wurden deshalb ausgewählt, weil die Berechnungen nur für rekonstruierte dreidimensionale Gebäude möglich sind.

Um den Verbrauch an Brennstoff für eine Heizsaison (etwa November bis April) fachgerecht zu ermitteln, benötigt man für jedes Objekt zunächst die Heizlast (den Wärmebedarf) der beheizten Räume, den Heizwert der verwendeten Brennstoffe und den Anlagenwirkungsgrad. Die dafür notwendigen Daten können wir für die Hypokaustheizung nur mit unterschiedlicher Genauigkeit fassen, deshalb kann das Resultat nur ein Richtwert innerhalb einer Bandbreite



Abb. 1 Nachbau eines Nischenofens.

sein. Wie gut oder wie schlecht eine Anlage betrieben wurde, lässt sich ebenfalls nicht berücksichtigen. Trotzdem kann man diese Verbrauchswerte wesentlich besser eingrenzen als bei den anderen oben angeführten Heizungsarten. Sie

können überdies als Ausgangspunkt für Schätzungen des Verbrauchs dieser anderen Systeme dienen. Berechnet wurden alle in römischer Zeit beheizten Räume der vier hier herangezogenen Objekte, unabhängig davon, ob sie heute – nach dem Wiederaufbau – mit einer betriebsfähigen Heizung ausgestattet worden sind oder nicht. In den meisten antiken Wohnhäusern war nur ein Raum mit einer Fußbodenheizung versehen. Es ist noch nicht so lange her, dass auch in Österreich – anders als heute – im Winter nur ein oder zwei Räume beheizt waren. Die Heizlast kann mit genormten Verfahren nach bestehenden Plänen genau berechnet werden, sofern die Angaben bezüglich der verwendeten Baumaterialien stimmen⁵. Das verwendete Berechnungsverfahren⁶ für die Ermittlung des Brennstoffverbrauchs ist für Wohnhäuser konzipiert, es ist jedoch anzunehmen, dass es für Thermen zu niedrige Werte liefert. Für eine Bestimmung der Größenordnung sollte es aber ausreichen. Bei den Brennstoffen wurden das Holz der Rotbuche (mit einer Restfeuchte von 20 %), das am besten für Heizzwecke geeignet ist und in der Antike in unseren Breiten reichlich verfügbar war⁷, sowie Holzkohle als Berechnungsgrundlage herangezogen. Bei beiden kann der Energiegehalt (Heizwert) beträchtlich schwanken.

Die große Frage ist: Welchen Anlagenwirkungsgrad hat eine Hypokaustheizung? Zunächst aber muss der Anlagenwirkungsgrad definiert werden: Darunter versteht man das Verhältnis

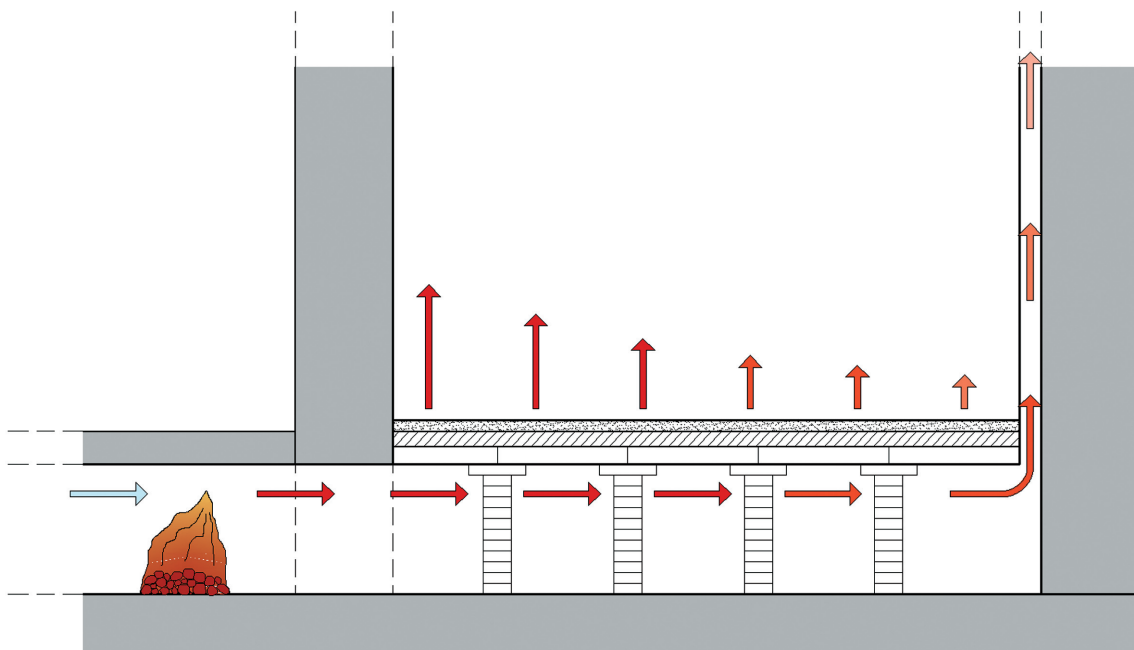


Abb. 2 Querschnitt durch eine Hypokaustheizung.



Abb. 3 Archäologischer Park Carnuntum, Haus II, Ansicht von Nordosten.

der dem Wärmeerzeuger (in unserem Fall im Praefurnium) zugeführten Brennstoff-Energie – deren Heizwert innerhalb einer Bandbreite wir kennen – und jener Energiemenge, die dem zu beheizenden Raum (den Räumen) zugute kommt⁸. Ein Wirkungsgrad von z. B. 70 % bedeutet, dass 70 % der eingesetzten Brennstoff-Energie dem Raum zugutekommen und 30 % für die Nutzung verloren sind. In der archäologischen Fachliteratur werden Werte bis über 90 % genannt⁹, was durchaus bereits modernen Anlagen entspräche, nicht aber der Realität einer Hypokaustheizung. Ein offener Kamin – und damit kann man eine Hypokaustheizung in etwa vergleichen – hat einen Anlagenwirkungsgrad von 10 bis max. 20 %¹⁰. Für diese, bei der – im Gegensatz zu einem „normalen“ offenen Kamin – der größte Teil des Abzuges (nämlich das eigentliche Hypokaust) als Wärmeverteiler fungiert, ist der Wert wahrscheinlich besser; man kann unter optimalen Voraussetzungen von etwa 30 % bis 34 % bei der Verwendung von Holz¹¹ bzw. max. 39 % bei Verfeuerung von Holzkohle¹² ausgehen. Verfügbare Messwerte rekonstruierter Anlagen in dieser Richtung gibt es kaum. Es ist dem Verfasser nur in einem Fall gelungen, Werte zu fassen, mit denen für diesen Betriebszustand (warme Hypokaustheizung) ein Anlagen-

wirkungsgrad nachvollzogen werden kann. Der Fall betrifft den Heizversuch F. Kretschmers im Versuchsraum des Saalburg-Kastells, und zwar am 29. und 30. Dezember 1951¹³. Für diese „Momentaufnahme“ ergibt eine Nachrechnung einen Anlagenwirkungsgrad von 33 %¹⁴. Dieser Wert passt zu den oben angeführten Schätzungen¹⁵ und Berechnungen¹⁶ von Fachleuten dreier Versuchsanstalten aus den Jahren 2010 und 2011. Da sicher nicht alle Heizanlagen optimal gebaut waren, hat



Abb. 4 Archäologischer Park Carnuntum, Haus II, Blick in den beheizten Wohn- bzw. Schlafraum.

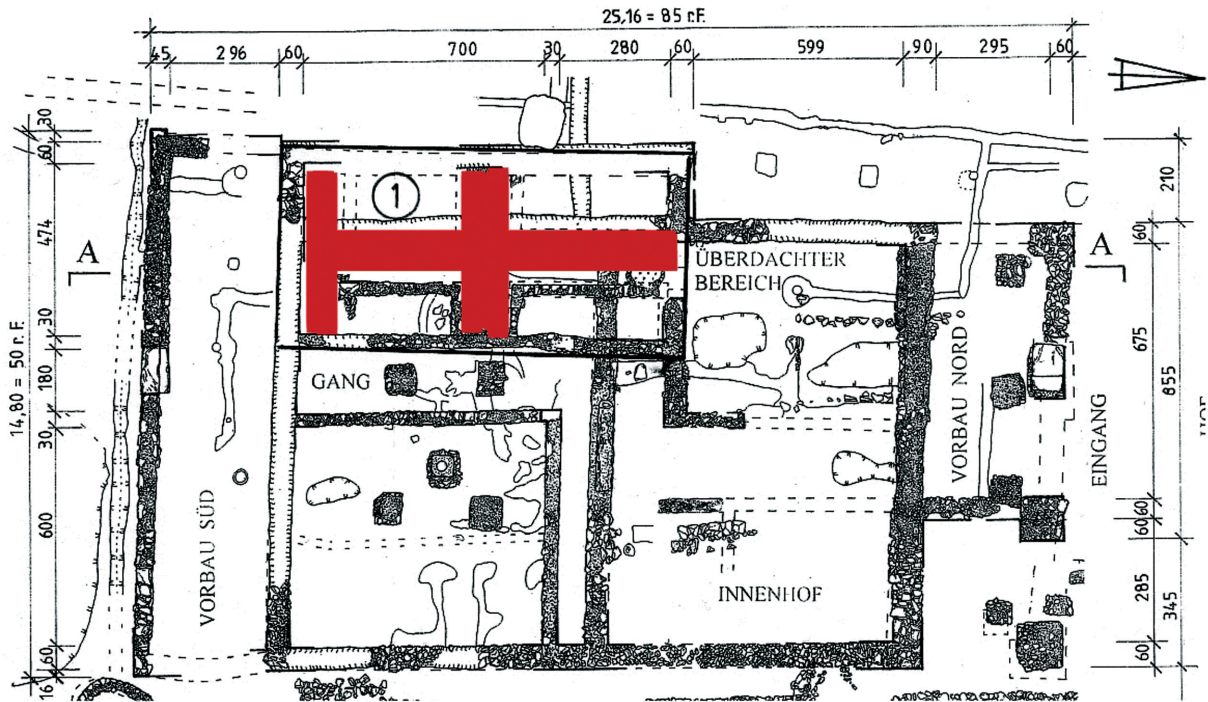


Abb. 5 Archäologischer Park Carnuntum, Grabungsplan des Hauses II mit eingezeichnetem Kanalhypokaust.

der Autor die Rechenwerte mit gebotener Vorsicht angenommen, nämlich für Holzkohle 35 % und für Buchenholz 30 %. Wie hoch die Wirkungsgrade wirklich waren, könnten nur länger dauernde Heizversuche in mehreren unterschiedlichen Anlagen unter winterlichen Bedingungen zeigen. Eine erste Information über den Verbrauch der in der Zwischenzeit fertiggestellten Thermen der Zivilstadt von Carnuntum für die ersten drei Monate Betrieb¹⁷ zur Vorbereitung für die Niederösterreichische Landesausstellung 2011 lässt für diese Anlage aus unbekanntem Grund einen schlechteren Wirkungsgrad vermuten. Der Heizwert wurde innerhalb der Bandbreite unterschiedlicher Angaben ebenfalls nicht dem oberen Bereich der Messwerte entnommen: für Holzkohle 8,3 kWh/kg¹⁸ und für Holz 2 100 kWh/m³¹⁹. Berechnet wurde nur der Verbrauch für den Heizbetrieb in der Winter-Heizperiode. Anzumerken ist, dass im Verbrauch der Thermen weder der Sommerbetrieb noch die Warmwasserbereitung für die

Badebecken enthalten ist, da die hierfür nötigen Grundlagen fehlen. Als Ergebnisse werden in der folgenden Aufstellung für jedes der Objekte (teilweise gerundet) angegeben:

1. die beheizte Fläche,
2. die Heizlast (= der Wärmebedarf),
3. der Verbrauch von Buchenholz bei Holzfeuerung (Volumen und Gewicht),
4. die Waldfläche, die zur Gewinnung dieser Holzmenge geschlagen werden muss,
5. alternativ der Verbrauch von Holzkohle bei deren Verwendung zur Beheizung (Gewicht),
6. die Menge Buchenholz, die zur Herstellung der angegebenen Menge Holzkohle nötig ist und schließlich
7. die Waldfläche, die zur Gewinnung dieser Holzmenge geschlagen werden muss.

Ergänzend muss noch festgehalten werden, dass es sich dabei um Richtwerte bei einem normkonformen Betrieb handelt, die abhängig sind

CARNUNTUM, HAUS II Beheizt: 26,4 m ²	VERBRAUCH BUCHENHOLZ	VERBRAUCH HOLZKOHLE
WÄRMEBEDARF: 5,07 kW	8,93 m ³ = 6 430 kg = 6,4 t	1 938 kg = 1,9 t Holzkohle aus 7 752 kg = 7,8 t Buchenholz
WALDFLÄCHENBEDARF	218 m ²	263 m ²

Tab. 1 Carnuntum, Haus II: sog. Kanalhypokaust in einem Raum. Der Wärmebedarf entspricht einer modernen wärmegeämmten Wohnung mit 92 m².

Abb. 6 Römermuseum Homburg-Schwarzenacker, Haus 17, teilrekonstruierte Straßenfront.



von der Brennstoffqualität, der Konzeption der Anlage und der Art, wie sie betrieben wird. Da viele der eingesetzten Werte starken Schwankungen und Unsicherheiten unterliegen, sind in der Praxis Abweichungen von diesen Resultaten wahrscheinlich. Hier folgt ein Vergleich diversen Haustypen aus *Carnuntum* und aus Homburg-Schwarzenacker:

Carnuntum, Haus II²⁰ (**Abb. 3, 4, 5** und **Tab. 1**).

Homburg-Schwarzenacker, Haus 17²¹ (**Abb. 6–8**

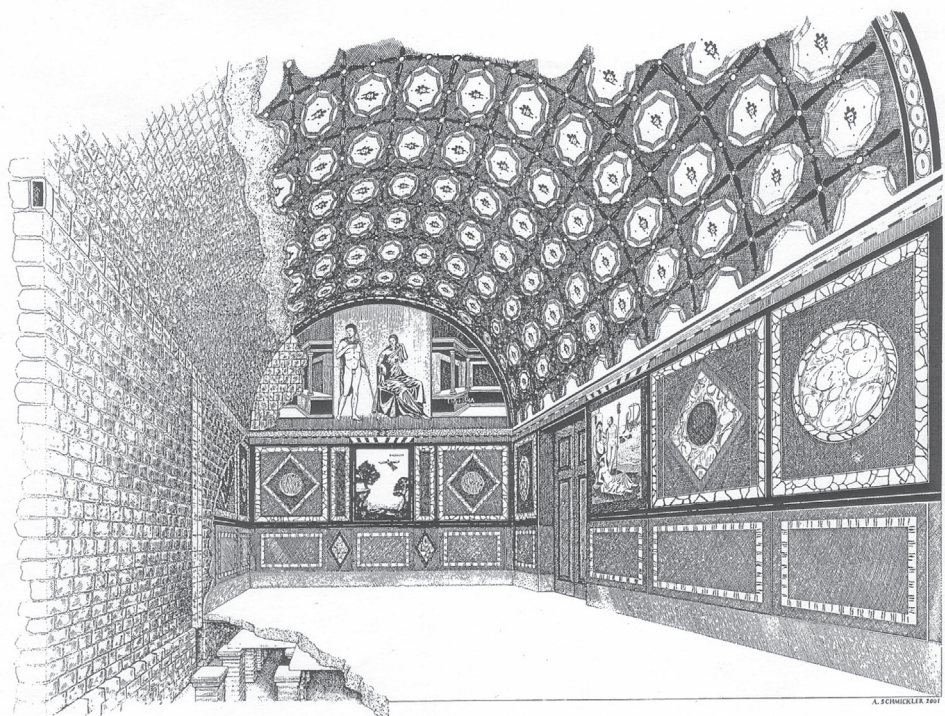
und **Tab. 2**).

Carnuntum, *Villa urbana*²² (**Abb. 9, 10, 11, 12** und **Tab. 3**).

Carnuntum, Thermen der Zivilstadt²³ (**Abb. 13, 14, 15** und **Tab. 4**).

Es ist nun möglich, die errechneten Werte auf die Zivilstadt von *Carnuntum* umzulegen. Auf Basis der bereits erwähnten Schätzung der Bebauung von *Carnuntum* in der Severerzeit (193–235 n. Chr.) durch A. Konecny²⁴ lässt sich die Wald-

Abb. 7 Römermuseum Homburg-Schwarzenacker, Haus 17, Rekonstruktionszeichnung des beheizten Innenraumes, wohl Wohn- und Schlafraum.



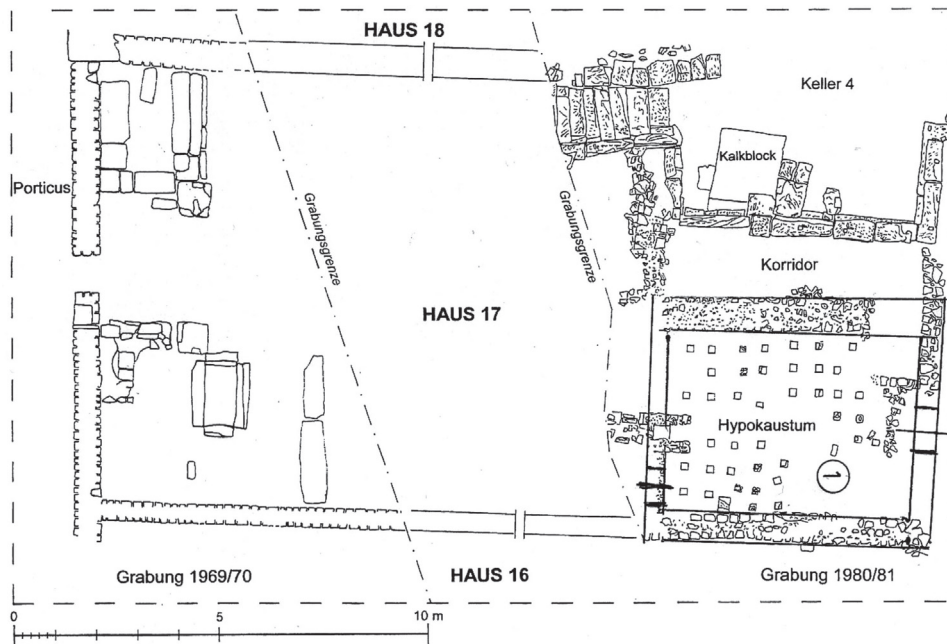


Fig. 8 Römermuseum Homburg-Schwarzenacker, Haus 17, Grabungsplan.

fläche ermitteln, die nur für den Holzverbrauch in den Hypokaustheizungen in einer Wintersaison mindestens gefällt werden musste, wobei – wie ausgeführt – davon auszugehen ist, dass nur etwa in einem Drittel der Wohnhäuser überhaupt ein Raum mit Hypokaust beheizt wurde (Tab. 5). Das wären rund 6,2 bzw. 7,5 Hektar Wald. Um es anschaulicher zu machen: die Größe dieser Fläche entspricht 9 bzw. 11 Fußballfeldern.

Diese Menge deckt nur den Bedarf an Heizmaterial für die Hypokaustheizungen im Winterbetrieb. Von 62 167 m² Buchenwald kann man ca. 1826 t (= ca. 2 500 m³) Brennholz ernten²⁵. Wenn man die Transportkapazität eines zweirädrigen Ochsenkarrens mit 500 kg (das bedeutet ein Transportvolumen von ca. 0,7 m³) annimmt, so wären das 3652 Fuhren nur für die Versorgung der Hypokaustheizungen. Holzkohle hat, auf das Volumen und Gewicht bezogen, einen höheren Heizwert als Holz²⁶. Das bedeutet, dass die gleiche Energiemenge als Holzkohle geliefert nur ca. 552 t wiegt, für deren Transport man ca. 1340 zweirädrige Ochsenkarren (Transportkapazität in diesem Fall je Karren max. ca. 1,5 m³ = 412 kg)

benötigt. Das ist – neben heizungstechnischen Gründen²⁷ – ein Argument für eine bevorzugte Verwendung von Holzkohle nicht nur in Hypokaustheizungen, sondern auch in den anderen römischen Heizsystemen. Außerdem wird in der Stadt für die Lagerung der Holzkohle eine wesentlich kleinere Fläche benötigt. Man darf zudem nicht vergessen, dass die Lieferung der Brennstoffe spätestens vor dem Einsetzen der Schneefälle erfolgen musste, denn auf verschneiten oder vereisten Straßen ohne Schneeräumung war mit Ochsenkarren kaum ein Fortkommen möglich.

Zu diesem Bedarf in Gebäuden mit Hypokaustheizung kommt noch der für die fallweise Beheizung anderer Räume dieser Häuser sowie die Beheizung der übrigen ca. 400 Behausungen mit Kohlebecken und Nischenöfen. Dieser Bedarf lässt sich allerdings nur schätzen, denn eine Berechnung einer nur teilweisen und unvollständigen Erwärmung von Wohnräumen (siehe oben) ist praktisch unmöglich. Im Gegensatz zu den Räumen mit Hypokaustheizung, die den ganzen Winter durchgehend beheizt wurden bzw. beheizt werden mussten²⁸ und die eine für die damalige

Homburg-Schwarzenacker, Haus 17 Beheizt: 45,5 m ²	VERBRAUCH BUCHENHOLZ	VERBRAUCH HOLZKOHLE
WÄRMEBEDARF: 4,39 kW	7,7 m ³ = 5 544 kg = 5,5 t	1 678 kg = 1,7 t Holzkohle aus 6 712 kg = 6,7 t Buchenholz
WALDFLÄCHENBEDARF	188 m ²	228 m ²

Tab. 2 Homburg-Schwarzenacker, Haus 17: vollflächiges Hypokaust. Der Wärmebedarf entspricht einer modernen wärme gedämmten Wohnung mit 80m².

Abb. 9 Archäologischer Park Carnuntum, Ansicht der Porticus der Nordstraße mit dahinter liegender *Villa urbana* von Nordwesten.



Zeit beachtliche Behaglichkeit boten, konnten die Räume mit den anderen Heizsystemen nur eine oft mangelhafte Wärme liefern. Außerdem wurden diese Häuser vermutlich von Personen mit geringerem Einkommen bewohnt, die sich Bau und Betrieb der teuren Hypokaustheizung nicht leisten konnten. Daher kann man bei einer Schätzung davon ausgehen, dass in diesen Häusern weniger Brennstoff verbraucht wurde. Für diese 400 Häuser wird hier deshalb der eineinhalbfache Verbrauch der 200 mit Hypokaust beheizten Häuser angenommen (200 Häuser vom Typ

Homburg-Schwarzenacker Haus 17 und 200 vom Typ *Carnuntum* Haus II). Die Berechnung auf Basis der für diese 200 Häuser ermittelten Werte ergibt für die übrigen 400 Behausungen, die nur zeitweise bei Bedarf beheizt wurden und kaum über angenehm beheizte Räume verfügten, einen geschätzten Verbrauch nach Gewicht und Anzahl der Transportkarren zu Gunsten von Holzkohle (**Tab. 6**). Nach Größe der benötigten Waldfläche zu urteilen, fällt der Unterschied zwischen Buchenholz und Holzkohle kleiner aus.

Abb. 10 Archäologischer Park Carnuntum, *Villa urbana*, Innenansicht des sog. Apsisraumes.



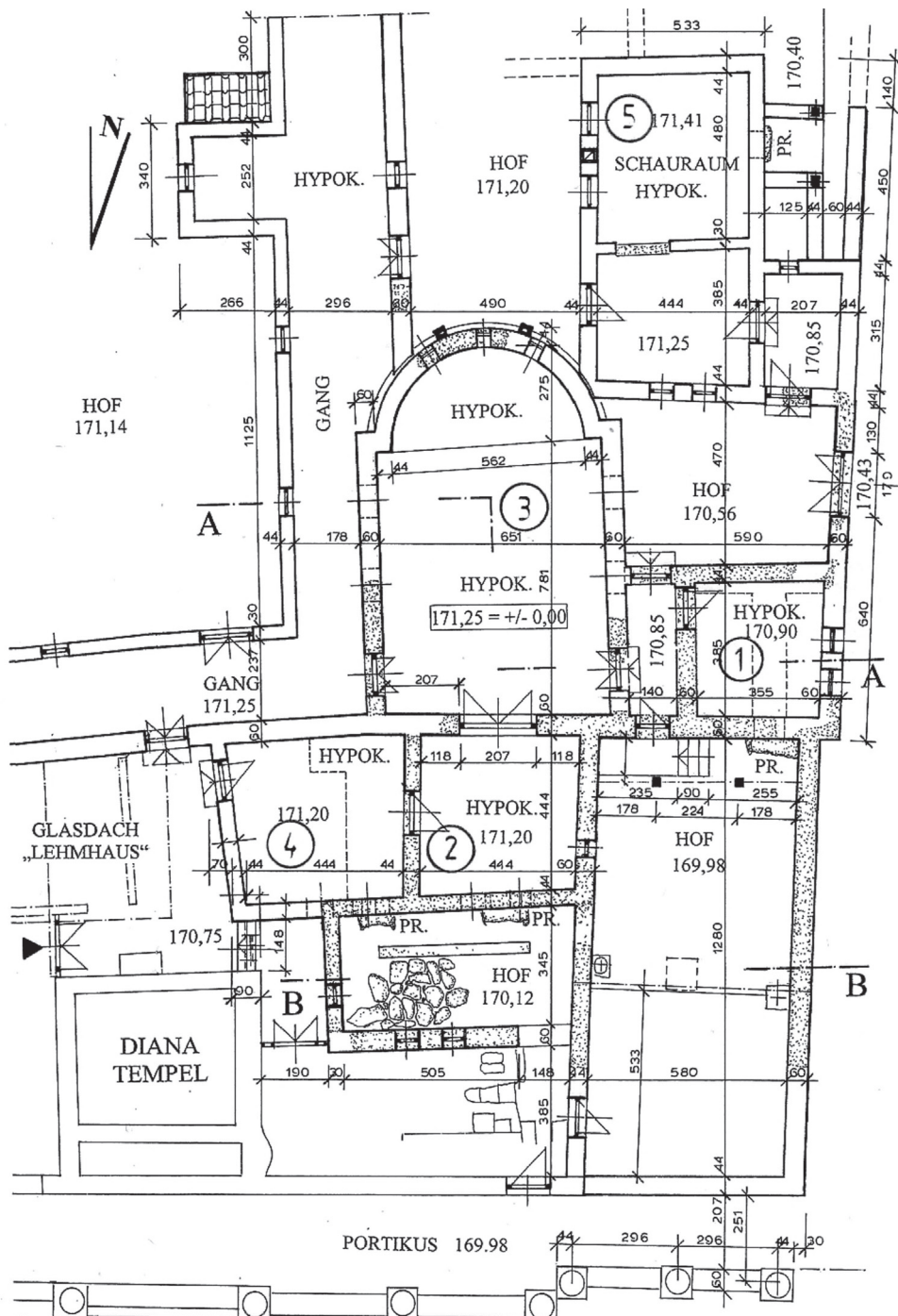


Abb. 11 Archäologischer Park Carnuntum, *Villa urbana*, Grundriss.

Wenn wir annehmen, dass von den Häusern mit einfacher Heizung 70 % mit Holzkohle und 30 % mit Holz beheizt wurden, ergibt sich für alle Häuser der Zivilstadt von *Carnuntum* für einen Winter geschätzt ein hoher Verbrauch (Tab. 7).

Diese ca. 15,5 ha (155 000 m² = ca. 23 Fußballfelder) liefern allerdings nur das Brennmaterial für die Raumheizung für ein Winterhalbjahr. Dazu kommt aber noch der Holzbedarf für das Warmwasser der Thermen sowie für das Kochen und, nicht zu vergessen, für das Gewerbe (Bäcker,

Schmiede, Töpfer, Ziegeleien etc.), wobei die Arbeitsintensität der einzelnen Betriebe jahreszeitbedingten Schwankungen unterlag. Die insgesamt benötigten Mengen an Brennstoff waren sicher groß, sind aber kaum abzuschätzen. Wenn man bedenkt, dass es im Fall von *Carnuntum* neben den zivilen Wohnhäusern noch ein Legionslager, ein Alenkastell, die *canabae legionis* und in der Umgebung einige *Villae rusticae* gab²⁹, ist es leicht vorstellbar, dass die nutzbaren Waldgebiete von der Siedlung immer weiter weg wanderten und

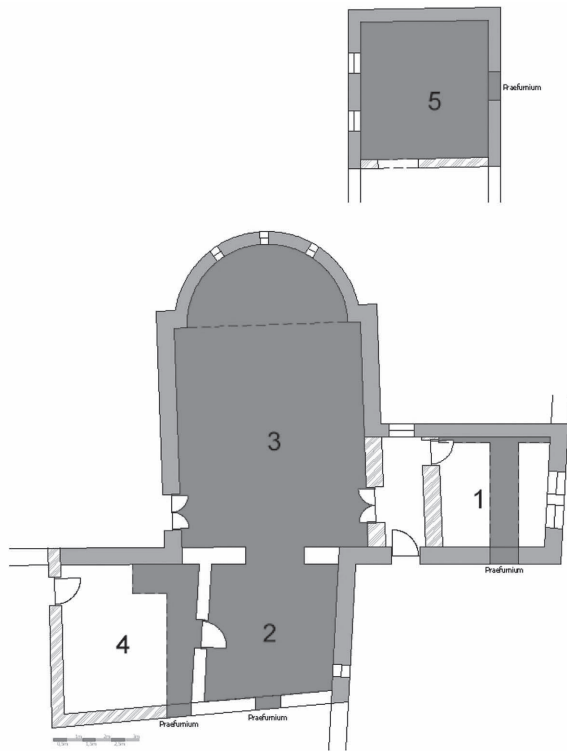


Abb. 12 Archäologischer Park Carnuntum, Villa urbana, mit Hypokaust beheizte Räume.

die Transportwege immer länger wurden. Bei diesen Dimensionen des Verbrauchs kann man die (dendroarchäologisch begründete) Annahme nachvollziehen, dass zum Beispiel im Gebiet von Baden-Württemberg (35 751 km²), das zu Beginn der römischen Okkupation weitgehend geschlossenes Waldland war, als Folge von Rodung und Holzgewinnung in der Kaiserzeit nach rund 200 Jahren Besetzung³⁰ nur mehr ca. 40 % des Landes (14 300 km²) bewaldet waren³¹. So ähnlich wird es in Carnuntum und in den Provinzen an Rhein und Donau wahrscheinlich überall gewesen sein. Eine planmäßige Aufforstung war den Römern anscheinend fremd³². Bestenfalls gab es daher in dem gerodeten Gebiet nach einigen Jahren nur noch einen für die Holzgewinnung praktisch nicht nutzbaren Buschwald aus schnellwüchsigem, minderwertigen Holz.

Anmerkungen

¹ Lehar 2012a, 113–122.

² Fusch 1910, 1–5; Lehar 2012b; Jul. Misopogon 341 B-D; Schiebold 2005, 259.

³ Dyczek 2015, 105–112; Kretschmer 1953, 19f., Lehar

VILLA URBANA Beheizt: 213 m ²	VERBRAUCH BUCHENHOLZ	VERBRAUCH HOLZKOHLE
WÄRMEBEDARF: 29,1 kW	51,27 m ³ = 36 914 kg = 36,91 t	11 125 kg = 11,13 t Holzkohle aus 44 500 kg = 44,5 t Buchenholz
WALDFLÄCHENBEDARF	1 251 m ²	1 509 m ²

Tab. 3 Carnuntum, Villa urbana, vollflächig bzw. teilweise hypokaustierte Räume. Der Wärmebedarf entspricht fast der Heizlast von vier modernen Tiroler Einfamilienhäusern.

Abb. 13 Archäologischer Park Carnuntum, Thermen der Zivilstadt. Ansicht von Südosten.





Abb. 14
Archäologischer
Park Carnuntum,
Thermen der
Zivilstadt,
Innenansicht der
Basilika Thermen.

2012a, 109-112; Weeber 1995, 178.

⁴ Mündliche Mitteilung Herr Dr. A. Konecny, *Carnuntum*.

⁵ Lehar 2012a, 235-239; ÖNORM 1980.

⁶ Brüner 1991, 325; Lehar 2012a, 340-325.

⁷ Mantel 1990, 48-51.

⁸ Brüner 1991, 313; zum Wirkungsgrad: [http://www.chemie.de/search/?q=Wirkungsgrad&source=lexikon](http://www.chemie.de/search/?q=Wirkungsgrad&source=lexikon;);
zum Anlagenwirkungsgrad: www.galler-steffl.de.
[Zugriff jeweils: 19.07.2016].

⁹ Kretschmer 1955, 209; Brödner 1983, 156; Timmer 2007, 89 (50 %).

¹⁰ Mündliche Mitteilung Herr M. Graupp und Herr F. Jirka, Innsbruck.

¹¹ Mündliche Mitteilung Herr Dipl.-Ing. L. Lasselsberger, Wieselburg; Lehar 2012a, 345-348.

¹² Lehar 2012a, 345-348.

¹³ Kretschmer 1953, 25.

¹⁴ Lehar 2012a, 273-277.

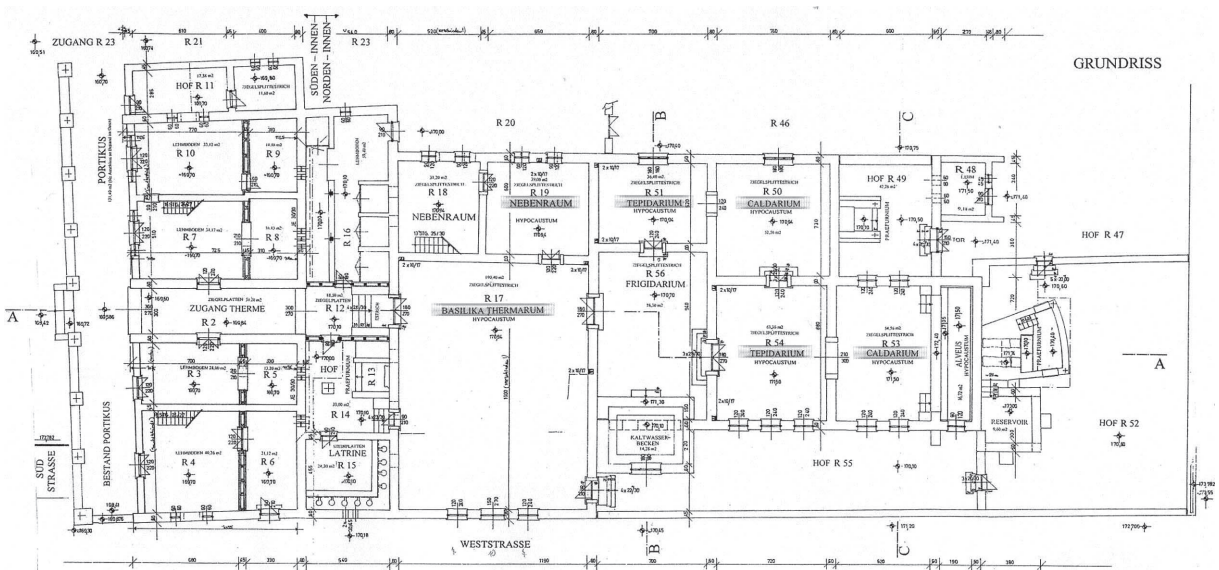


Abb. 15 Archäologischer Park Carnuntum, Grundriss der Thermen der Zivilstadt. Grau markiert sind die Bezeichnungen der Räume die mit Hypokaustheizung ausgestattet sind.

THERMEN DER ZIVILSTADT Beheizt: 460 m ²	VERBRAUCH BUCHENHOLZ	VERBRAUCH HOLZKOHLE
WÄRMEBEDARF: 70,2 kW	123,69 m ³ = 89 057 kg = 89,06 t	26 841 kg = 26,84 t Holzkohle aus 107 364 kg = 107,36 t Buchenholz
WALDFLÄCHENBEDARF	3 019 m ²	3 640 m ²

Tab. 4 Carnuntum, Thermen der Zivilstadt, die beheizten Räume haben vollflächige Hypokauste Gebäude. Der Wärmebedarf entspricht der Heizlast von neun modernen Tiroler Einfamilienhäusern.

GEBÄUDEANZAHL / FÜR HEIZUNG BENÖTIGTE WALDFLÄCHE	BUCHENHOLZ	HOLZKOHLE
100 Häuser vom Typ Homburg-Schwarzenacker	18 800 m ²	22 800 m ²
100 Häuser vom Typ Carnuntum Haus II	21 800 m ²	26 300 m ²
10 Häuser vom Typ Carnuntum Villa urbana	12 510 m ²	15 090 m ²
3 Thermen vom Typ Carnuntum Thermen der Zivilstadt	9 057 m ²	10 920 m ²
Insgesamt:	62 167 m ²	75 110 m ²

Tab. 5 Anzahl der mit Hypokaust beheizten Gebäuden und die dafür benötigte Waldfläche.

BUCHENHOLZ	1 796 t	ca. 7 ha Waldfläche	3 592 Ochsenkarren
HOLZKOHLE	543 t	ca. 8 ha Waldfläche	1 318 Ochsenkarren

Tab. 6 Vergleich des Verbrauchs zwischen Buchenholz und Holzkohle.

VERBRAUCH PRO WINTER	HOLZMENGE	WALDFLÄCHE	TRANSPORT- KARREN
Verbrauch Hypokaustheizungen: 100% Holzkohle	ca. 552 t	ca. 7,5 ha	ca. 1 340
Verbrauch andere Heizarten: 70% Holzkohle	ca. 380 t	ca. 5,6 ha	ca. 922
Verbrauch andere Heizarten: 30% Holz	ca. 539 t	ca. 2,4 ha	ca. 1 078
Insgesamt:	ca. 1 471 t	ca. 15,5 ha	ca. 3 340

Tab. 7 Summe des Verbrauchs aufgeschlüsselt nach Heizarten.

¹⁵ Mündliche Mitteilung Herr Prof. Dipl.-Ing. P. Herzog, Wien; Mündliche Mitteilung Herr Dipl.-Ing. L. Lasselsberger, Wieselburg.

¹⁶ Mündliche Mitteilung Herr Ing. R. Haselböck, Wien.

¹⁷ Mündliche Mitteilung Herr Dr. A. Konecny, Carnuntum.

¹⁸ Vergleichbar: <http://www.uni-goettingen.de/de/holz-und-nutzung/15929.html> [Zugriff: 19.07.2016].

¹⁹ Mündliche Mitteilung Herr Ing. R. Haselböck, Wien.

²⁰ Lehar 2012a, 42–44.

²¹ Lehar 2012a, 20–22.

²² Lehar 2012a, 88–94.

²³ Lehar 2012a, 159–167.

²⁴ Mündliche Mitteilung Herr Dr. A. Konecny, Carnuntum.

²⁵ Lehar 2012a, 343 f.

²⁶ Ast/Ast/Katzer 1970, 99. Zu Köhlerei: www.eduhi.at/dl/koehlerei.pdf [Zugriff: 19.07.2016].

²⁷ Lehar 2012a, 145–167.

²⁸ Lehar 2012a, 155–158; 162 f.

²⁹ Mündliche Mitteilung Herr Dr. A. Konecny, Carnuntum. Vgl. hierzu auch F. Humer (Hrsg.), Carnuntum. Wiedergeborene Stadt der Kaiser (Darmstadt 2014).

³⁰ Nuber 2005, 35 f.

³¹ Nenninger 2005, 390.

³² Grandjot 1973,71; Küster 1998, 8 f.; Nenninger 2001, 203–205, 209; Nenninger 2005, 390.

Abbildungs- und Tabellennachweis

Abb. 1–4; 6; 9–10; 12–14: Verfasser.

Abb. 5; 11; 15: Archäologischer Park Carnuntum, K. F. Gollmann 2007.

Abb. 7: aus Haus und Siedlung in den römischen Westprovinzen, 275, Ermer GmbH & Co. KG, Homburg 2002.

Abb. 8: aus Haus und Siedlung in den römischen Nordprovinzen, 264, Ermer GmbH & Co. KG 2002.

Tab. 1–7: Verfasser.

Literatur

Ast/Ast/Katzer 1970

H. Ast/W. Ast/E. Katzer, Holzkohle und Eisen. Beitrag zur Volkskunde, Wirtschafts- und Sozialgeschichte des Raumes um Gutenstein (=Niederösterreichische Volkskunde 6) (Linz 1970).

Brödner 1983

E. Brödner, Die römischen Thermen und das antike Badewesen (Darmstadt 1983).

Brünner 1991

H. Brünner, Der Zentralheizungsbauer – Fachkunde für Schule und Praxis mit Berechnungsbeispielen (Wien 1991).

Dyczek 2015

P. Dyczek, There's no smoke without a fire. Remarks on Roman ceramic chimneys. The case of *Novae* (BG). In: P. Henrich/Ch. Miks/J. Obmann/M. Wieland (Hrsg.), *Non solum ... sed etiam*. Festschrift für Thomas Fischer zum 65. Geburtstag (Rahden/Westf. 2015) 105–112.

Grandjot 1973

W. Grandjot, Waldwirtschaft-Waldpflege-Technik und Betrieb-Forstpolitik (München 1973).

Fusch 1910

G. Fusch, Über Hypokausten – Heizungen und mittelalterliche Heizungsanlagen (Hannover 1910).

Kretschmer 1953

F. Kretschmer, Hypokausten. Saalburg Jahrbuch 12, 1953, 8-41.

Kretschmer 1955

F. Kretschmer, Die Heizung der Aula Palatina in Trier. *Germania* 33, 1955, 200-210.

Küster 1998

H. Küster, Geschichte des Waldes – von der Urzeit bis zur Gegenwart (München 1998).

Lehar 2012a

H. Lehar, Die römische Hypokaustheizung – Berechnungen und Überlegungen zu Leistung, Aufbau und Funktion (Aachen 2012).

Lehar 2012b

H. Lehar, Römische Heizsysteme im Test. <https://www.uibk.ac.at/ipoint/news/2012/roemische-heizsysteme-im-test.html.de> [Zugriff: 19.07.2016].

Mantel 1990

K. Mantel, Wald und Forst in der Geschichte (Alfeld, Hannover 1990).

Misopogon

Julian Apostata, Misopogon, Übersetzung M. Giebel (Stuttgart 1999).

Nenninger 2005

M. Nenninger, Forstwirtschaft und Energieverbrauch – Der Wald in der Antike. In: Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.), *Imperium Romanum. I. Roms Provinzen an Neckar, Rhein und Donau* (Stuttgart 2005) 388-392.

Nuber 2005

H. Nuber, Das antike Baden-Württemberg, wie wir es heute sehen. In: Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.), *Imperium Romanum. I. Roms Provinzen an Neckar, Rhein und Donau* (Stuttgart 2005) 34-38.

ÖNORM 1980

Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), ÖNORM M 7500, Heizlast von Gebäuden (Wien 1980).

Schiebold 2005

H. Schiebold, Strömungsverlauf der Rauchgase in Hypokaustenanlagen für Heizung und Wassererwärmung. *Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik* 126, (5), 254-259.

Timmer 2007

H. Timmer, Die Antike als Vorbild für moderne Flächenheizungen. *Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik* 128, (2), 86-90.

Weeber 1995

K.-H. Weeber, *Alltag im Alten Rom* (Zürich 1995).

*Mag. Dr. Hannes Lehar
Universität Innsbruck, Zentrum für alte Kulturen
Langer Weg 11
A-6020 Innsbruck
Österreich
hannes.lehar@aon.at*