



Hannes Lehar

Die Klimatisierung von drei Baukomplexen in Rom und Umgebung Fakten und Thesen

Mit Beiträgen von Manuela Broisch-Höhner, Sabrina Geiermann, Klaus Pointner



Erschienen 2021 auf Propylaeum-DOK

URN: [urn:nbn:de:bsz:16-propylaeumdok-50400](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:16-propylaeumdok-50400)

DOI: <https://doi.org/10.11588/propylaeumdok.00005040>

URL: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2021/5040>

Die dieser Publikation zugrundeliegenden Untersuchungen sind von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) 2016-2017 finanziell gefördert (Projekt BE 5959/1-1) und vom DAI-Abt. Rom unterstützt worden.

Propylaeum DOK

Publiziert bei Propylaeum,
Universitätsbibliothek Heidelberg 2021.

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

urn: [urn:nbn:de:bsz:16-propylaeumdok-50400](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:16-propylaeumdok-50400)

doi: <https://doi.org/10.11588/propylaeumdok.00005040>

url: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2021/5040>

Text © 2021 Hannes Lehar und das Copyright der Texte liegt beim jeweiligen Verfasser.

Herausgeber: Hannes Lehar (Universität Innsbruck, Institut für Archäologien)
Eigenverlag, A-6112 Wattens, Im Kerschbäumer 34

Umschlagillustration: Tivoli, Villa Hadriana sog. „Winterpalast“, Südfassade
Rom, sog. „Tempio di Minerva Medica“, Blick vom Narthex in das Innere
Rom-Via Appia, Palast des Maxentius, Ausgrabung des sog. „Gebäudes L1“

© laut Abbildungsnachweis (S. 87)

Dies ist die teilweise Vorauspublikation von:

Hannes Lehar und Hubertus Manderscheid

„Klimatisierung von Wohn- und Repräsentationsarchitektur in Rom und Latium. Interdisziplinäre Untersuchungen zu einer Luxuseinrichtung in einer wetterbegünstigten Zone des Römischen Reiches anhand ausgewählter Beispiele“

Mit Beiträgen von Heinz Beste, Matilde Carrara, Manuela Broisch-Höhner, Roberto Gabrielli, Sabrina Geiermann, Klaus Pointner

Diese Gesamtpublikation wird voraussichtlich 2022/23 erscheinen.

„Die Klimatisierung von drei Baukomplexen in Rom und Umgebung –

Fakten und Thesen“

Hannes Lehar

Vorwort des Verfassers

Als im Frühjahr 2015 durch den Kollegen Hubertus Manderscheid eine Anfrage aus Rom eintraf, ob ich an einem Projekt der DAI-Abteilung Rom über die Klimatisierung römischer Repräsentationsbauten in Rom und Latium mitarbeiten würde, hat mich das sofort gereizt. Meine Forschungen über Hypokaustheizungen hatten sich bis dahin überwiegend mit Anlagen in den römischen Nordprovinzen beschäftigt, wo sich – bedingt durch das raue Klima – ein Großteil der bekannten Anlagen befindet. Beheizung und, wie sich im Lauf des Projekts herausstellte, auch Klimatisierung in einer Gegend und zu einer Zeit, wo man dies nicht unbedingt erwarten würde, zu untersuchen, ist eine Aufgabe, die für einen Archäologen mit einem vorherigen beruflichen Hintergrund in der Heizungstechnik eine echte Herausforderung darstellt. Zudem ist die Teilnahme an einem Projekt des DAI mit einer geplanten Laufzeit von einem Jahr auch wissenschaftlich ehrenvoll. Da außerdem ein vielseitiges Team mit dem Archäologen Hubertus Manderscheid und dem Bauforscher Heinz-Jürgen Beste vorgesehen war, versprach das eine interessante fachübergreifende Zusammenarbeit zu werden. Ich sagte daher zu, und nach einigen verwaltungstechnischen und gesundheitlichen Problemen startete im September 2015 der erste meiner meist zweiwöchigen Aufenthalte in Rom. Bestens betreut durch Herrn Manderscheid und mehrfach unterstützt durch Herrn Beste beendete ich meine Untersuchungen vor Ort im Dezember 2016. Anschließend mussten die Ergebnisse der Untersuchungen verarbeitet und mit erklärenden Grafiken versehen werden. Außerdem tauchten immer wieder Fragen zu Details auf, die von Herrn Manderscheid vor Ort geklärt wurden. Die beiden Gebäude in der „Villa des Maxentius“ (L1 und Aula) waren relativ einfach zu bearbeiten. Hilfreich waren dabei die geophysikalischen Untersuchungen und Laserscans durch zwei Teams der Universität Köln. Die Deutung des Tempio di Minerva Medica hingegen erforderte einige archäologische und auch klimatechnische Fantasie. Der ›Winterpalast‹ in der Villa Hadriana beanspruchte die meiste Zeit. Zu umfangreichen Untersuchungen und der Deutung der vorhandenen Baustrukturen kam der nicht einfache Versuch, die Theorie einer Kühlung des Gebäudes auch rechnerisch auf ihre Durchführbarkeit zu überprüfen, was nur mit der Beiziehung eines Spezialisten für Strömungstechnik in Gaskanälen (und dessen komplexen

EDV-Programms) möglich war. Die zum Teil spekulativen Ergebnisse waren teilweise überraschend und eröffnen, wie ich meine, teilweise völlig neue Blickwinkel auf die von mir untersuchten drei Bauwerke. Im Frühjahr 2018 war mein Beitrag fertig, und die Druckunterlagen konnten nach Rom geschickt werden, um als Teil II in die Gesamtdokumentation eingefügt zu werden und anschließend in Druck zu gehen.

Durch verschiedene Umstände, die nicht in meinem Bereich lagen, und die vor allem durch den gewaltigen Umfang des vorgesehenen Teils I (H. Manderscheid), durch das Fehlen einiger anderer Beiträge und die Covid-19 Pandemie bedingt sind, wird sich das Erscheinen des Gesamtwerks in gedruckter Form noch geraume Zeit verzögern. Daher habe ich mich mit Zustimmung des Co-Autors H. Manderscheid und des DAI-Abteilung Rom dazu entschlossen, meinen Teil II („**Die Klimatisierung von drei Baukomplexen in Rom und Umgebung – Fakten und Thesen**“) sowie die sich darauf beziehenden – ebenfalls bereits fertigen – Appendices vorab digital zu publizieren.

Da ich mich, soweit möglich, an die Gliederung des künftigen Buches halten möchte, bitte ich die Leserinnen und Leser um Verständnis, wenn in den Nummerierungen der einzelnen Teile Lücken entstanden sind, die erst mit der Komplettierung der Gesamtpublikation geschlossen werden können.

Innsbruck, im April 2021

Hannes Lehar

*Mag. Dr. Hannes Lehar
Universität Innsbruck
Freier wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Archäologien, Fachbereich Klassische und Provinzialrömische Archäologie*

*Zentrum für Alte Kulturen
Langer Weg 11
A-6020 Innsbruck*

hannes.lehar@aon.at

Inhaltsverzeichnis

„Die Klimatisierung von drei Baukomplexen in Rom und Umgebung – Fakten und Thesen“

(Vorauspublikation von Teil II plus Appendices der geplanten Gesamtpublikation: H. Lehar, H. Manderscheid, „Klimatisierung von Wohn- und Repräsentationsarchitektur in Rom und Latium. Interdisziplinäre Untersuchungen zu einer Luxuseinrichtung in einer wetterbegünstigten Zone des Römischen Reiches anhand ausgewählter Beispiele“):

Vorwort des Verfassers.....	1
Inhaltsverzeichnis.....	3
Einleitung und Begriffsbestimmungen.....	4
Das Gebäude L1 der Villa des Maxentius.....	8
Die Palastaula der Villa des Maxentius.....	20
Der sogenannte Tempel der Minerva Medica.....	33
Der sogenannte Winterpalast in der Villa Hadriana.....	53
Danksagung.....	83
Literatur und Verzeichnis der sonstigen Quellen.....	84
Abbildungsnachweis.....	87
Appendix 2: M. Broisch-Höhner, Die geophysikalischen Prospektionen im Bereich der Aula M und der Säle N und O in der Villa des Maxentius.....	88
Appendix 3: S. Geiermann, Die dreidimensionale Vermessung und Auswertung von Teilen der Villa des Maxentius an der Via Appia in Rom.....	101
Appendix 7: K. Pointner/H. Lehar, Berechnung einer fiktiven Kühlung mit nur einem Verbindungsrohr und mit Lufteinlass durch Schächte aus den Bedienungsgängen in den aufgeständerten Boden im sog. Winterpalast in der Villa Hadriana bei Tivoli.....	110
Appendix 8: K. Pointner/H. Lehar, Berechnung einer fiktiven Kühlung mit drei nur angenommenen Verbindungsrohren und Lufteinlassöffnungen in der Fassade direkt in den aufgeständerten Boden im sog. Winterpalast in der Villa Hadriana bei Tivoli.....	114
Appendix 9: H. Lehar, Berechnung der Wärmeübertragung gemäß Appendix 8.....	118

Einleitung und Begriffsbestimmungen

In den nördlichen Provinzen des Römischen Reichs waren Heizungen kein Luxus, sondern eine Notwendigkeit. So findet man dort Hypokaustheizungen nicht nur in Thermen, sondern in den verschiedensten Ausführungen vor allem auch in Wohnhäusern. In den meisten Fällen war jedoch nur ein Raum des Hauses so beheizt. Aufgabe dieses Forschungsprojekts war es, Hypokaustheizungen in Rom und Latium zu untersuchen, die also in Gunstlagen des Reichs situiert waren – wo abgesehen von Thermen – konstruktiv aufwendige Heizungen eigentlich nicht unbedingt nötig waren. War ihr Zweck nur die Raumheizung, oder sollten sie auch andere, spezielle Aufgaben erfüllen? Gibt es Unterschiede in der Bauweise zwischen Rom und dem Norden? Zunächst, um Unklarheiten auszuschließen, einige Begriffsbestimmungen:

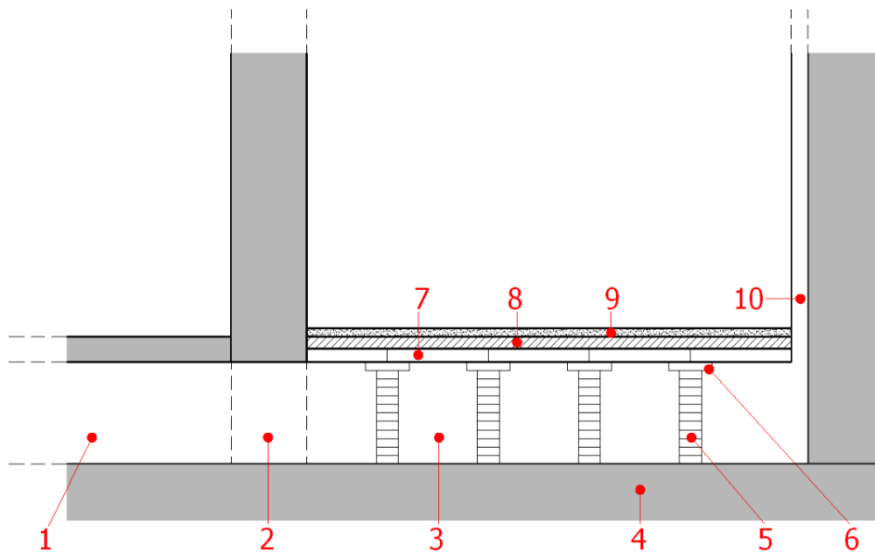


Abb. 1: prinzipieller Aufbau einer Hypokaustheizung:

1. Praefurnium
2. Feuerungskanal (auch Schürkanal)
3. Hypokaust
4. Unterer Boden
5. Hypokaustpfeiler
6. Auflageplatte (auch Auflagefläche, Kopfplatte, Trägerplatte)
7. Suspensurplatten
8. Grober Estrich
9. Feiner Estrich

10. Rauchabzug (auch Abzug, Endabzug, Tubulusstrang) bei reiner Bodenbeheizung;
 Tubulatur bei der so genannten Wandheizung
 7.+ 8.+ 9. bilden zusammen die *Suspensura* (= gesamte Bodenkonstruktion, oder auch
 als Estrichplatte bezeichnet)

und eine schematische Funktionsdarstellung einer Hypokaustheizung:

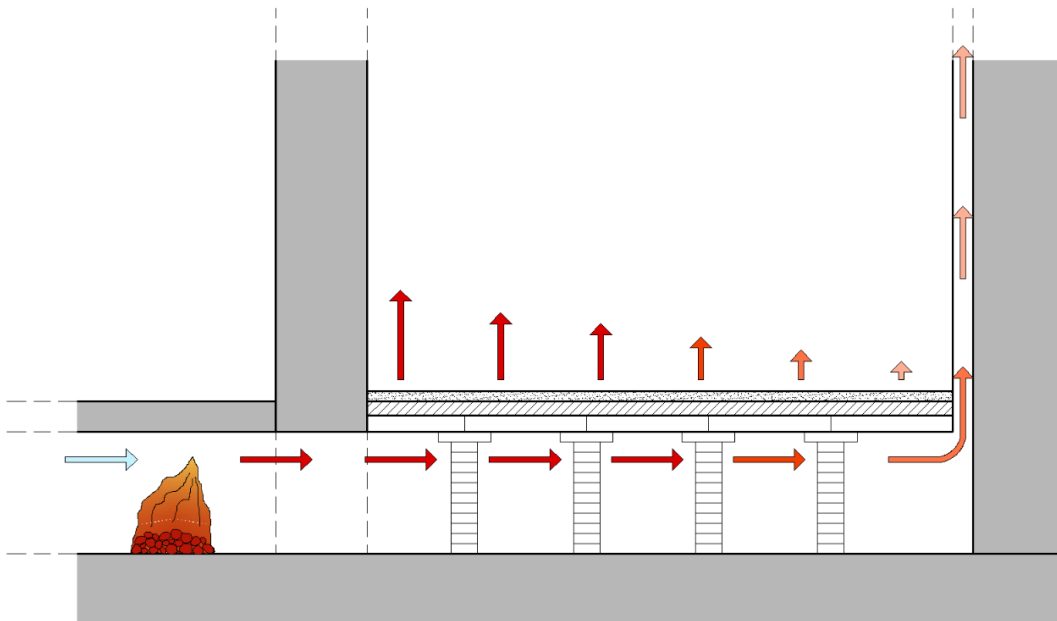


Abb. 2: Durchströmung des Hypokausts und Wärmeabgabe an den Raum: der systembedingte Abfall der Temperatur des Rauchgases und – analog dazu – der *suspensura* ist klar erkennbar.

Zum Abschluss einige (physikalische) Grundsätze, deren Verständnis für die Lektüre dieser Arbeit notwendig ist:

1. Wärme (wie jede Energie) fließt immer vom höheren zum niederen Potential, also vom Warmen zum Kalten.
2. Je größer die Temperaturdifferenz, desto stärker der Wärmefluss; andererseits, keine Temperaturdifferenz – kein Wärmefluss.
3. Warme Gase (auch Heizgase) steigen auf; je höher ihre Temperatur (im Verhältnis zur Umgebung) ist, desto stärker (= schneller).
4. Kalte Gase (auch Heizgase) sinken ab; je niedriger ihre Temperatur (im Verhältnis zur Umgebung) ist, desto stärker (= schneller).
5. Gase (auch Heizgase) geben auf ihrem Weg durch eine kältere Umgebung Wärme ab und deshalb sinkt unterwegs ihre Temperatur. Analog dazu sinkt die Temperatur der von ihnen beheizten *suspensura* und damit deren Heizleistung (Abb. 2).

6. Warme Gase (auch Heizgase) nehmen (wie jede Energie) immer den Weg des geringsten Widerstands. Das gilt – zum Beispiel bei Klimatisierung – auch für kalte Luftströmungen.
7. Hypokaustheizungen sind (wie auch die modernen Fußbodenheizungen) nur für einen kontinuierlichen Betrieb geeignet. Fallweises oder kurzzeitiges Heizen ist u. a. wegen der langen Aufheizzeiten sinnlos und für die Anlagen schädlich¹.

Bereits bei einer ersten Betrachtung von Hypokaustheizungen in Rom und Umgebung fallen zwei Unterschiede zu den Anlagen in den nördlichen (kälteren) Provinzen des Römischen Reiches auf:

- Die Tubulusstränge der Abzüge sind meistens auf der Raumseite in das Mauerwerk der Außenmauern versenkt und nicht – wie im Norden üblich – auf der Innenseite der Außenmauern mit Mörtel oder Metallklammern befestigt und dann in eine dicke Putzschicht eingebettet². Dadurch wird zwar weniger Innenputz benötigt, allerdings geben die Abzüge durch die an dieser Stelle dünnere Außenwand etwas mehr Wärme an die Außenluft ab³, und die Gefahr einer Versottung der Abzüge steigt⁴, was im wärmeren Süden möglicherweise nicht so sehr ins Gewicht fiel.
- die *praefurnien* sind meist sehr einfach gebaut. Vielfach bestehen sie nur aus einem Durchbruch in Bogen- oder Rechteckform (Abb. 15 u. 7) durch die Außenwand des Hypokausts. Das Feuer brennt frei im Hypokaust. Diese Ausführung führte offensichtlich teilweise zu Problemen, wie man aus den erfolgten Umbauten schließen kann. Der Unterschied zu den meist wesentlich aufwendigeren und technisch ausgereifteren *praefurnien* im Norden des Reichs ist teilweise beträchtlich.

Obwohl es in und um Rom eine beachtliche Zahl an Resten von Hypokaustheizungen gibt, war es gar nicht so einfach, für diese Untersuchungen lohnende und vor allem geeignete Objekte zu finden. Teilweise war der Zutritt aus rechtlichen Gründen oder wegen nicht gewährleisteter Sicherheit nicht möglich. Vielfach waren die Anlagen nicht vollständig ausgegraben (oder die Grabungsdokumentationen nicht verfügbar) oder die Grabungen waren im Lauf der Zeit wieder mit Erdreich so zugeschwemmt, dass die wesentlichen Strukturen nicht mehr erkennbar waren.

¹ Lehar 2012, 135-144, 158, 163,169, 179f.

² Lehar 2012, 84-86.

³ Kretzschmer 1953, 19.

⁴ Lehar 2012, 135-180.

Einige Anlagen waren nach der Grabung wieder zugeschüttet worden und die Dokumentationen nicht verfügbar. Es hätte neuer Grabungen bedurft, um entsprechende Informationen zu erhalten. Das hätte allerdings sowohl den zeitlichen als auch den finanziellen und personellen Rahmen des Projekts weit überfordert.

Im Rahmen der Möglichkeiten wurden daher folgende, lohnend erscheinende Bauwerke für eine Untersuchung ausgewählt:

Das Gebäude L1 der Villa des Maxentius: Dieses relativ große Gebäude war vollflächig mit Hypokaustheizungen ausgestattet, die mehrfach umgebaut wurden; wie und warum?

Die Palastaula der Villa des Maxentius: Das große und hohe Gebäude sollte mit einer Hypokaustheizung ausgestattet werden, wurde aber nicht vollendet. Wie hätte diese Heizung ausgesehen?

Der sogenannte Tempel der Minerva Medica in Rom: Dieses große und sehr hohe nach außen nicht komplett geschlossene Gebäude verfügt in einem Teilbereich (drei Apsiden) über eine Hypokaustheizung, die im Verhältnis zur Größe des Gebäudes niemals zu einer Beheizung des gesamten Raums ausgereicht hätte. Wozu könnte sie gedient haben?

Der sogenannte Winterpalast in der Villa Hadriana: Dort wurde in einigen Räumen bisher eine Konstruktion eines aufgeständerten Bodens (Hypokaust) angenommen, die es ermöglicht haben soll, einerseits als Hypokaustheizung zu fungieren, und andererseits mit Hilfe einer Unterlüftung des Bodens eine Raumkühlung zu erzielen. Hält diese Hypothese einer archäologisch – heiztechnischen Untersuchung stand?

Die untersuchten Objekte im Einzelnen:

Das Gebäude L1 der Villa des Maxentius

Die Bearbeitung erfolgte auf Basis der Dokumentation über die Villa des Maxentius von G. Pisani und R. Calza⁵



Abb. 3: Rom, Villa des Maxentius, Gebäude L1: Zustand nach der Grabung 1965.

sowie eigenem Augenschein des Verfassers der bereits wieder ziemlich überwachsenen Grabungsreste.

⁵ Pisani Sartorio – Calza 1976, 82-88.



Abb. 4: Rom, Villa des Maxentius, Gebäude L1: Zustand 2017.

Die Anlage wurde 1965 von G. Pisani Sartorio ausgegraben und mit einem Grundriss und Fotos gut dokumentiert⁶. Es handelt sich um ein langgestrecktes Gebäude mit ca. 456 m² Fläche, das in seiner Gesamtheit mit einer Hypokaustheizung mit einer Höhe von 0,7 m⁷ versehen ist. Die Stärke der *suspensura* beträgt ca. 0,3 m⁸. Die Heizung ist in fünf Abschnitte aufgeteilt. Diese verfügen jeweils über ein *praefurnium* und vier oder fünf Abzüge, die ihrerseits aus mehreren Tubulussträngen bestehen (Abb. 6). Diese Aufteilung in fünf Abschnitte kann aus rein heizungstechnischer Sicht zwei Gründe gehabt haben:

Gebäude L1 war kein Saal, sondern es bestand aus fünf ziemlich gleich großen nebeneinander gereihten Räumen. Daher verfügte sinnvollerweise jeder Raum über ein eigenes *praefurnium* und die notwendigen Abzüge, um eine individuelle Beheizung jedes Raumes zu ermöglichen. Oder: Gebäude L1 war – wie allgemein angenommen wird – ein Saal, also ein einziger Raum – wozu dann fünf *praefurnia* mit vielen Abzügen?

⁶ Pisani Sartorio – Calza 1976, 82–90.

⁷ Pisani Sartorio – Calza 1976, 84.

⁸ Pisani Sartorio – Calza 1976, 84.

Ein *praefurnium*, das ja letztlich nur ein offener Kamin ist, kann nur eine bestimmte Menge an heißen Rauchgasen (Heizgasen) erzeugen, die dann die *suspensura* von unten erwärmen. Die Gase geben auf ihrem Weg durch das Hypokaust zu den Abzügen (Tubulussträngen) Wärme ab, werden also immer kühler und können daher ab einem bestimmten Abstand vom *praefurnium* nur mehr eine geringe (Abb. 2) oder sogar keine Heizleistung mehr erbringen⁹. Deshalb ist es sinnvoll, bei großen Räumen das Hypokaust in mehrere Abteilungen mit je (mindestens) einem *praefurnium* und einer entsprechenden Anzahl von Abzügen zu unterteilen. Diese Abteilungen waren hier allerdings sicher nicht – wie G. Pisani Sartorio in ihrer Publikation meint¹⁰ – mit Durchbrüchen miteinander verbunden. Eine derartige Lösung ist nur bei hintereinander liegenden, relativ kleinen Räumen, die durch ein einziges *praefurnium* beheizt werden sollen, sinnvoll. Es ist dies die klassische Beheizung bei kleinen Thermen, wo das hinter dem *caldarium* liegende *tepidarium* weniger warm sein soll, und die nach dem Heizen des *caldarium* verbleibende Restwärme der Rauchgase (Heizgase) zu dessen Erwärmung im Allgemeinen ausreicht¹¹ (Abb. 5):

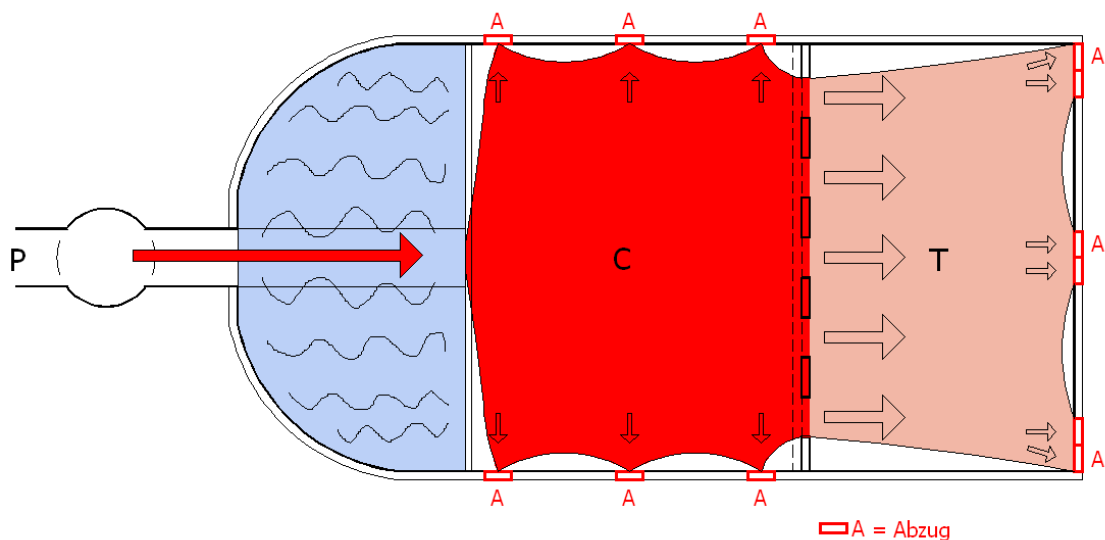


Abb. 5: schematische Darstellung: die heißen Rauchgase durchströmen zunächst das *caldarium* und strömen dann, bereits kühler, durch das *tepidarium* zu den Hauptabzügen. Die seitlichen (gedrosselten) Abzüge im *caldarium* dienen nur der besseren Wärmeverteilung.

⁹ Lehar 2012, 118. 120.

¹⁰ Pisani Sartorio – Calza 1976, 84.

¹¹ Brück 1997, 60 f.
Kretschmer 1953, 32.
Lehar 2012, 50 f.

Bei wie im Gebäude L1 nebeneinander liegenden Räumen mit eigenen *praefurnia*, wären Querverbindungen für eine gezielte Verteilung der warmen Rauchgase nur störend, da ja jedes Abteil über eigene Abzüge verfügt, wie Abb. 6 zeigt:

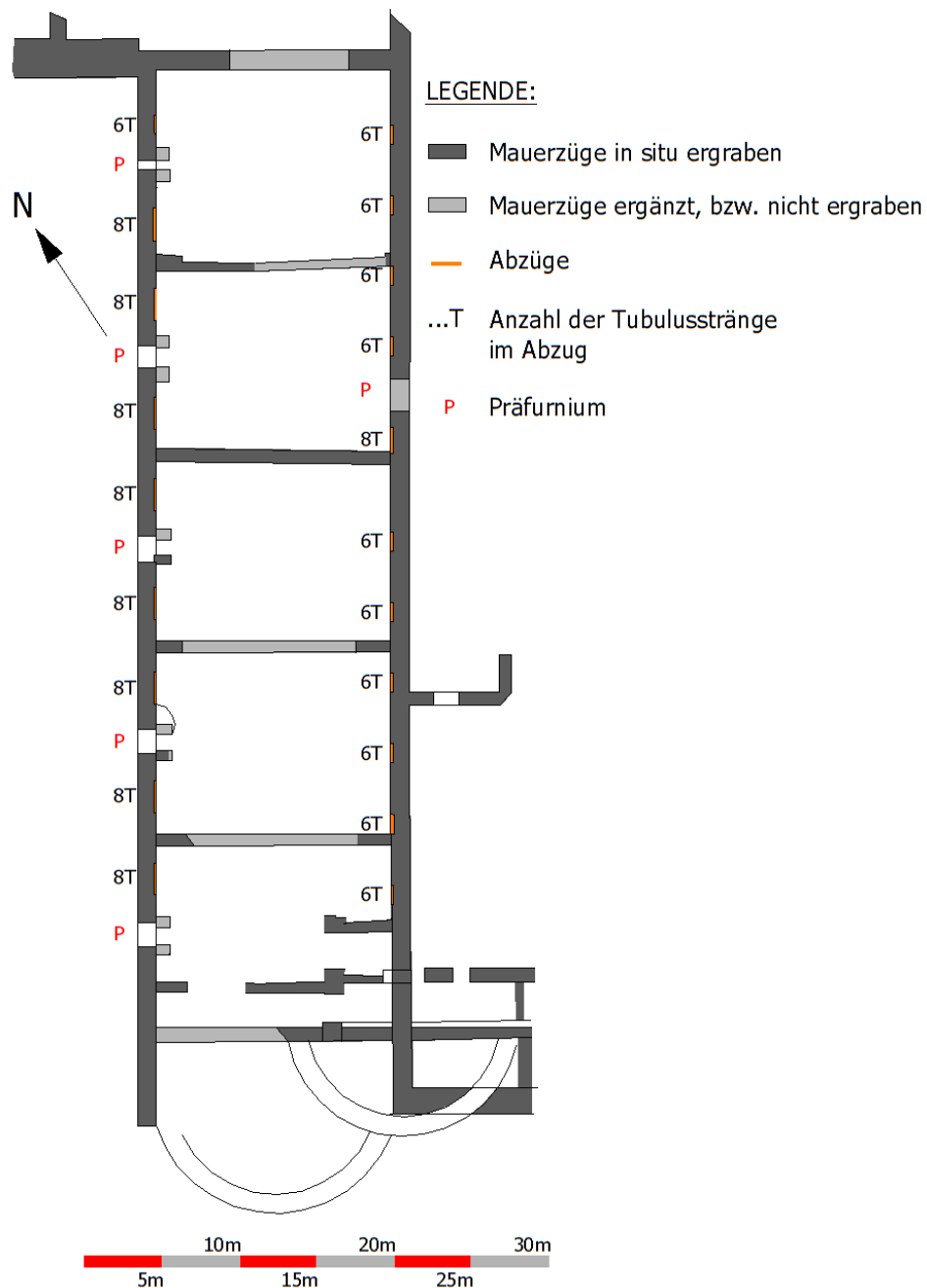


Abb. 6: Rom, Villa des Maxentius, Gebäude L1: Grabungsplan des Hypokausts von G. Pisani, ergänzt durch nicht mehr vorhandene bzw. nicht ergrabene Teile (Zwischenwände, Zungenmauern). Für die heizungstechnische Betrachtung nicht nötige Bauteile (Reste der *suspensura*, ältere oder neuere Mauerzüge etc.) wurden weggelassen. Der südlichste Abschnitt ist wegen Ein- / Umbauten leider nicht völlig klar, dürfte aber analog zu den anderen Abschnitten in der West- und der Ostmauer jeweils einen weiteren Abzug gehabt haben.

Bei näherer Betrachtung der Heizanlage entsteht beim Verfasser der Eindruck, dass der planende Baumeister nur über einige theoretische Kenntnisse, aber keine eigene Erfahrung mit Hypokaustheizungen verfügte, sondern nur eine ungenaue Vorstellung von deren Aufbau und Funktion hatte. Daher scheint der Heizkomfort zunächst ungenügend gewesen zu sein, und deshalb waren nachträglich Änderungen der ursprünglichen Anlage notwendig.

Zunächst scheint die Heizleistung unzureichend gewesen zu sein. Die *suspensura* wurde offenbar nicht ausreichend warm. Als Ursache hat man offenbar zunächst die einfache Form des *praefurnium* ausgemacht. Gut erkennbar ist die Ausführung der *praefurnia* zunächst als reine Durchbrüche der Außenwand (Abb. 7), was nur unbefriedigende Wärmeleistungen zur Folge hat.

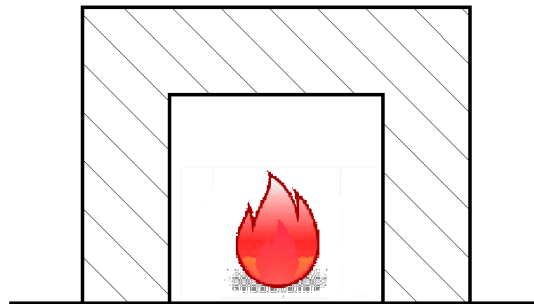


Abb. 7: rechteckige / quadratische Eintrittsöffnung eines einfachen *praefurniums* (Ansicht).

Bei dieser Bauart brennt das Feuer unmittelbar hinter der Öffnung in der Außenwand, direkt im Hypokaust und erhitzt in diesem Bereich den darüber befindlichen Fußboden sehr stark. Ein Begehen dieses Bereichs mit bloßen Füßen ist unmöglich und selbst mit dicken Holzsohlen nicht angenehm. Bei Temperaturen um die 60°C (wie in rekonstruierten Anlagen gemessen) dürfte auch ein Teppich¹² nichts genützt haben. Das ist nicht nur für die Bewohner unangenehm, sondern kann, wegen der punktuell extremen Hitze, außerdem Spannungsrisse in der *suspensura* verursachen¹³. Diese sind nicht nur nicht schön, es besteht dadurch auch die Gefahr von undichten Stellen, durch die (giftige) Rauchgase in den Raum eindringen können. Feuerungstechnisch hat die Anordnung des Feuers im Hypokaust selbst, ohne eine seitliche bauliche Begrenzung, den Nachteil, dass die einströmende, für die Verbrennung nötige Luft

¹² Hüser 1979, 18.

¹³ vgl. Hüser 1979, 28.

nicht gezielt über den Brennstoff geleitet wird, sondern sich nach der Öffnung auch seitlich ausbreiten und, so am Feuer vorbei, in das Hypokaust hineinziehen kann. Dieser Teil der Luft geht für die Verbrennung verloren, ist aber trotzdem im Hypokaust. Insgesamt strömt daher mehr (kalte) Außenluft ein, als für eine vollkommene Nutzung des Heizmaterials notwendig wäre. Dadurch werden die heißen Rauchgase (Heizgase) abgekühlt und damit sinkt der Wirkungsgrad der Heizung¹⁴ (Abb. 8):

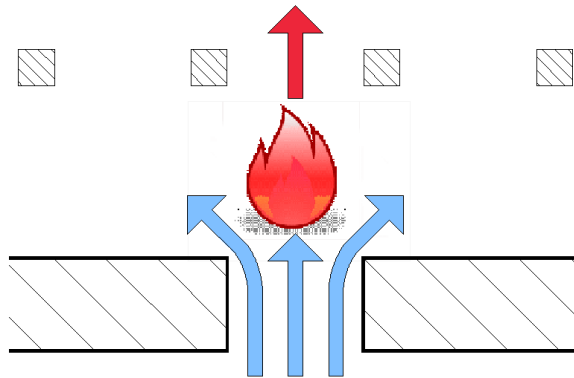


Abb. 8: einfaches *praefurnium*: ein Großteil der Frischluft zieht am Feuer vorbei und senkt so die Temperatur im Hypokaust (Draufsicht).

Außerdem strömen die Rauchgase (Heizgase) zum größten Teil auf dem kürzesten Weg zu den nächstgelegenen Abzügen¹⁵, die im Fall des Gebäudes L1 unmittelbar neben den *praefurnia* liegen, jedoch kaum durch das gesamte Hypokaust und können daher die *suspensura* nicht erwärmen¹⁶ (Abb. 9):

¹⁴ Hüser 1979, 18.

Lehar 2012, 38 f.

¹⁵ Kretschmer 1953, 32.

¹⁶ Lehar 2012, 114.

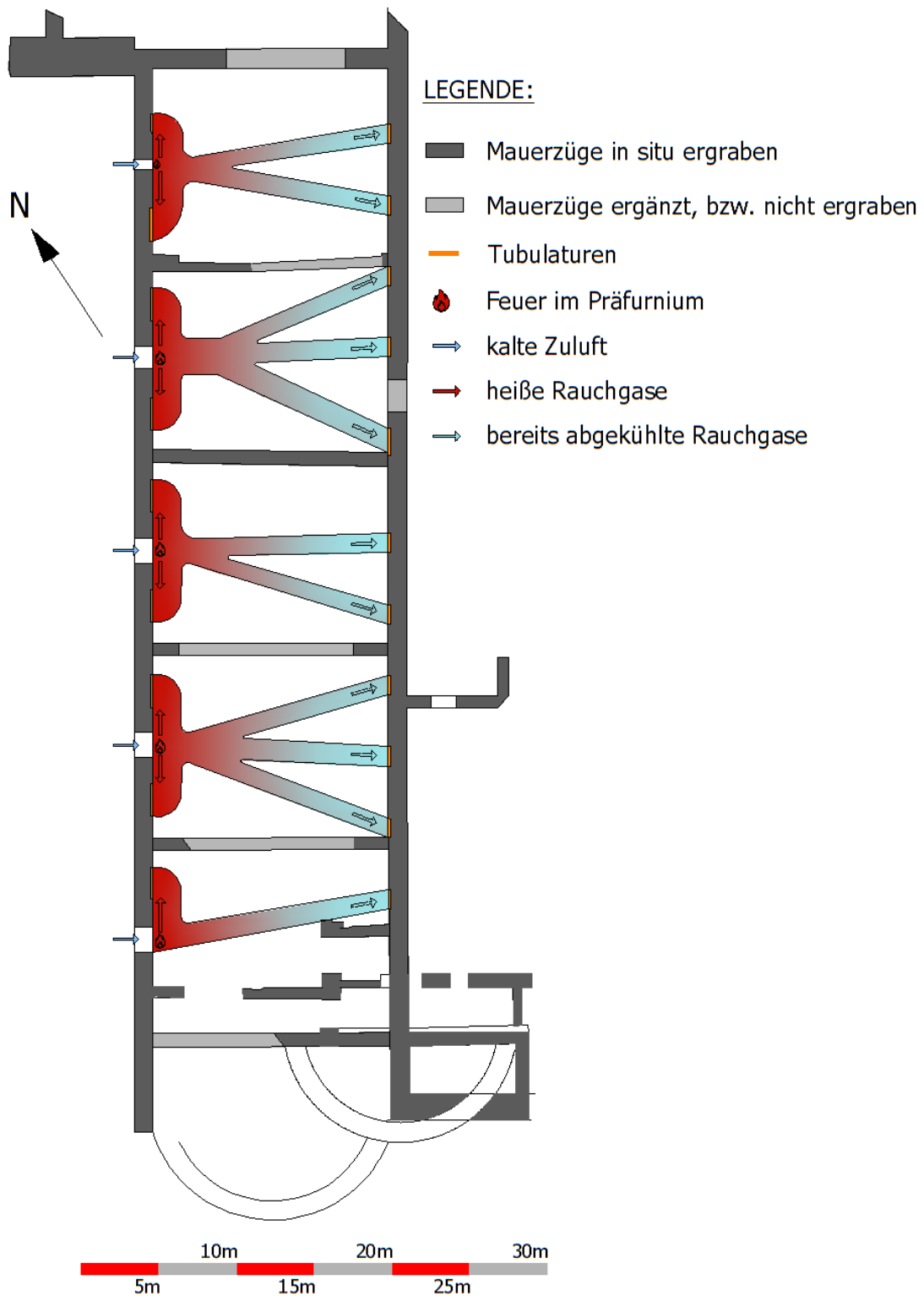


Abb. 9: Rom, Villa des Maxentius, Gebäude L1: schematische Darstellung: die heißen Rauchgase verlassen zum überwiegenden Teil das Hypokaust durch die neben den *praefurnia* gelegenen Abzüge. Im roten Bereich wird die *suspensura* daher extrem heiß, im restlichen Raum bleibt sie kalt und heizt daher nicht.

Diesen Mangel versuchte man hier durch nachträglich eingebaute ›Zungenmauern‹ zu beheben, wie an den beiden original erhaltenen erkennbar ist (Abb. 6). Diese Mauern reichen links und rechts von den Eintrittsöffnungen in der Außenwand des Hypokausts im rechten Winkel parallel in dessen Inneres hinein und bilden so einen Kanal, der einerseits die kalte Frischluft gezielt auf das Feuer hin leitet¹⁷, und andererseits wird so die vorher unnütz seitlich am Feuer vorbei strömende kalte Luft vermieden (Abb. 10):

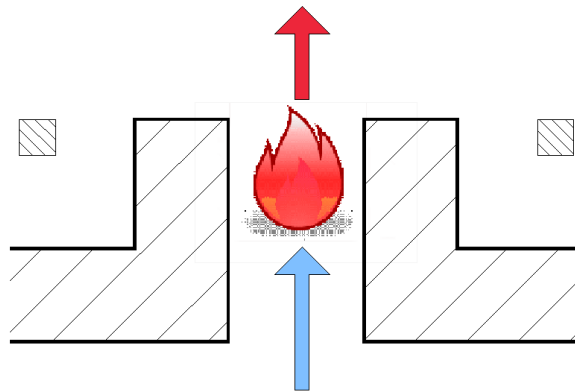


Abb. 10: *praefurnium* mit Zungenmauern; die Frischluft für die Verbrennung wird direkt auf das Feuer geleitet.

Gleichzeitig hat der römische Baumeister diese ›Zungenmauern‹ etwas in die Eintrittsöffnungen hinein gesetzt (Abb. 6 u. 11), um deren Querschnitt und damit die zu große einströmende Luftmenge zu reduzieren. Diese Umbauten sind bereits ein Indiz dafür, dass diese Anlage in Betrieb genommen worden ist. Durch diese Maßnahme wurde zwar eine bessere Effizienz der Feuerung erzielt, die Durchströmung des Hypokausts aber kaum verbessert. Der größte Teil der warmen Rauchgase strömte – zwar jetzt mit einem kleinen Umweg um die Zungenmauern herum – nach wie vor zu den benachbarten Abzügen (Abb. 11) und verließ durch diese das Hypokaust, ohne es ausreichend zu erwärmen:

¹⁷ Fusch 1910, 52–55.
vergl. Kretschmer 1953, 15.
Lehar 2012, 132.

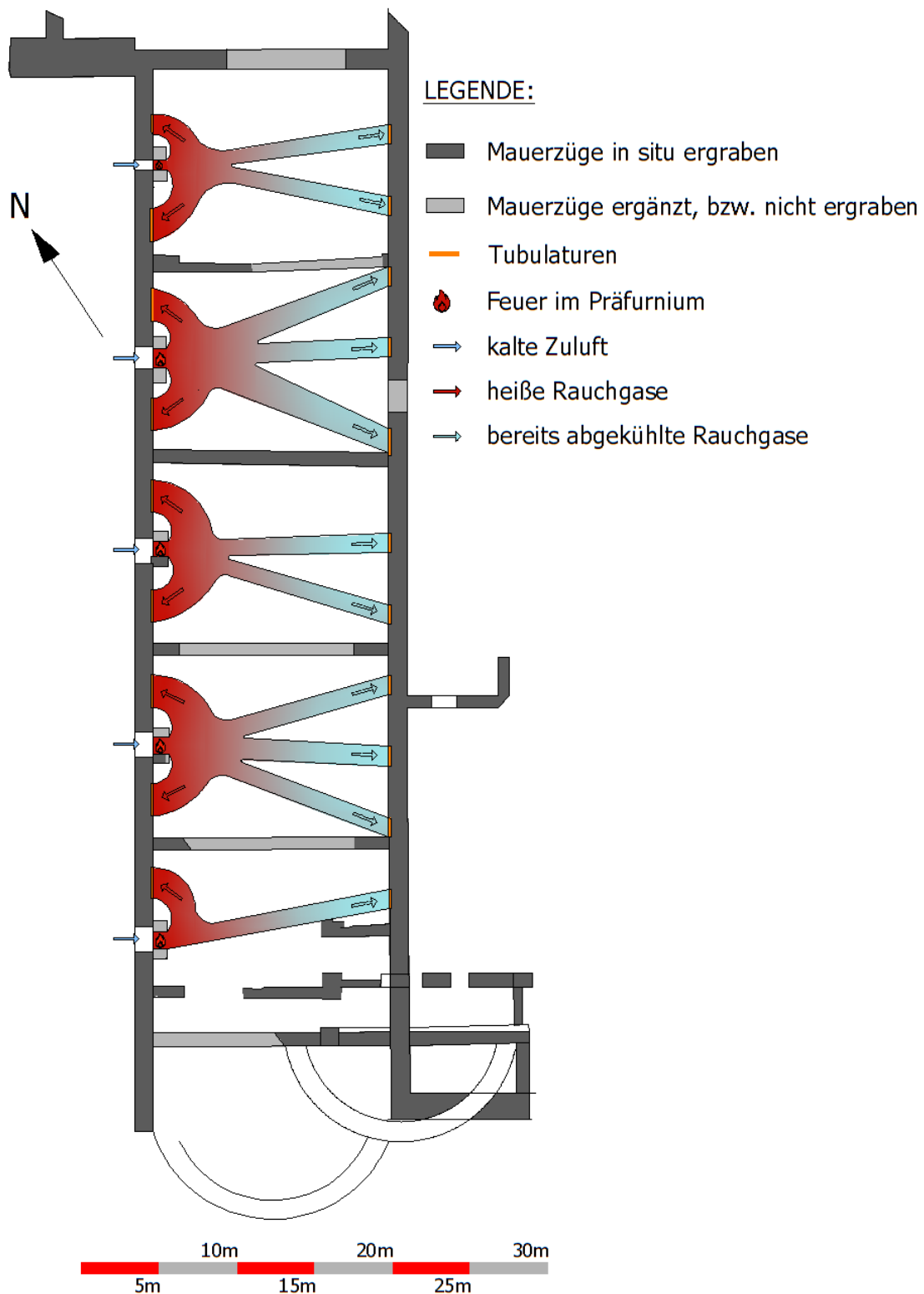


Abb. 11: Rom, Villa des Maxentius, Gebäude L1: schematische Darstellung: die warmen Rauchgase strömen um die Zungenmauern herum zum größten Teil durch die benachbarten Abzüge ins Freie.

Das Hauptproblem waren nämlich die Abzüge. Es sind insgesamt auf der Westseite 70 und auf der Ostseite 68 Tubulusstränge feststellbar¹⁸ – also praktisch gleich viele auf beiden Seiten (Abb. 6). Die *praefurnia* befinden sich aber alle auf der Westseite. Die warmen Rauchgase nehmen – wie jede Energie – den Weg des geringsten Widerstands, und das ist in der Regel der kürzeste¹⁹. Die Folge davon ist – wie bereits erwähnt –, dass die Gase nach wie vor in erster Linie durch die unmittelbar neben den *praefurnia* an der Westseite gelegenen Abzüge (Tubulusstränge) ins Freie abziehen, deshalb das Hypokaust nicht ausreichend durchströmen und daher die *suspensura* nicht erwärmen (Abb. 11). Daher verfügen Hypokaustheizungen – anders als es hier zunächst der Fall war – praktisch immer über die meisten Abzüge an der dem *praefurnium* gegenüber liegenden Wand, damit die warmen Gase gezwungen sind, dem Zug in diesen Abzügen folgend, das ganze Hypokaust zu durchströmen und auf diesem Weg ihre Wärme an die *suspensura* abzugeben²⁰. An den anderen Außenseiten (in unserem Fall an der Seite der *praefurnia*) befinden sich – anders als im Gebäude L1 – nur wenige Abzüge, die nur der besseren Wärmeverteilung im Hypokaust dienen. Außerdem konnte deren Durchströmungsmenge durch Verengungen (z.B. mittels eingeschobener Keile) zusätzlich nach Bedarf gedrosselt werden²¹. Es ist daher anzunehmen, dass bei den ersten Inbetriebnahmen nach den geschilderten Umbauten die Abzüge in der Westwand größtenteils verschlossen wurden, was der Einfachheit halber wohl an deren oberem Ende geschah²² und daher heute nicht mehr erkennbar ist. Durch diese Maßnahme veränderte sich die Durchströmung des Hypokausts grundlegend (Abb. 12):

¹⁸ Pisani – Calza 1976, 83 f.

¹⁹ Kretschmer 1953, 30. 32.
Lehar 2012, 115.

²⁰ Baatz 1979, 37.
Kretschmer 1953, 17. 26.
Lehar 2012, 114. 116 f.

²¹ Lehar 2012, 117.

²² Fusch 1910, 61 f.
Baatz 1979, 37.
Schiebold 2005, 259.

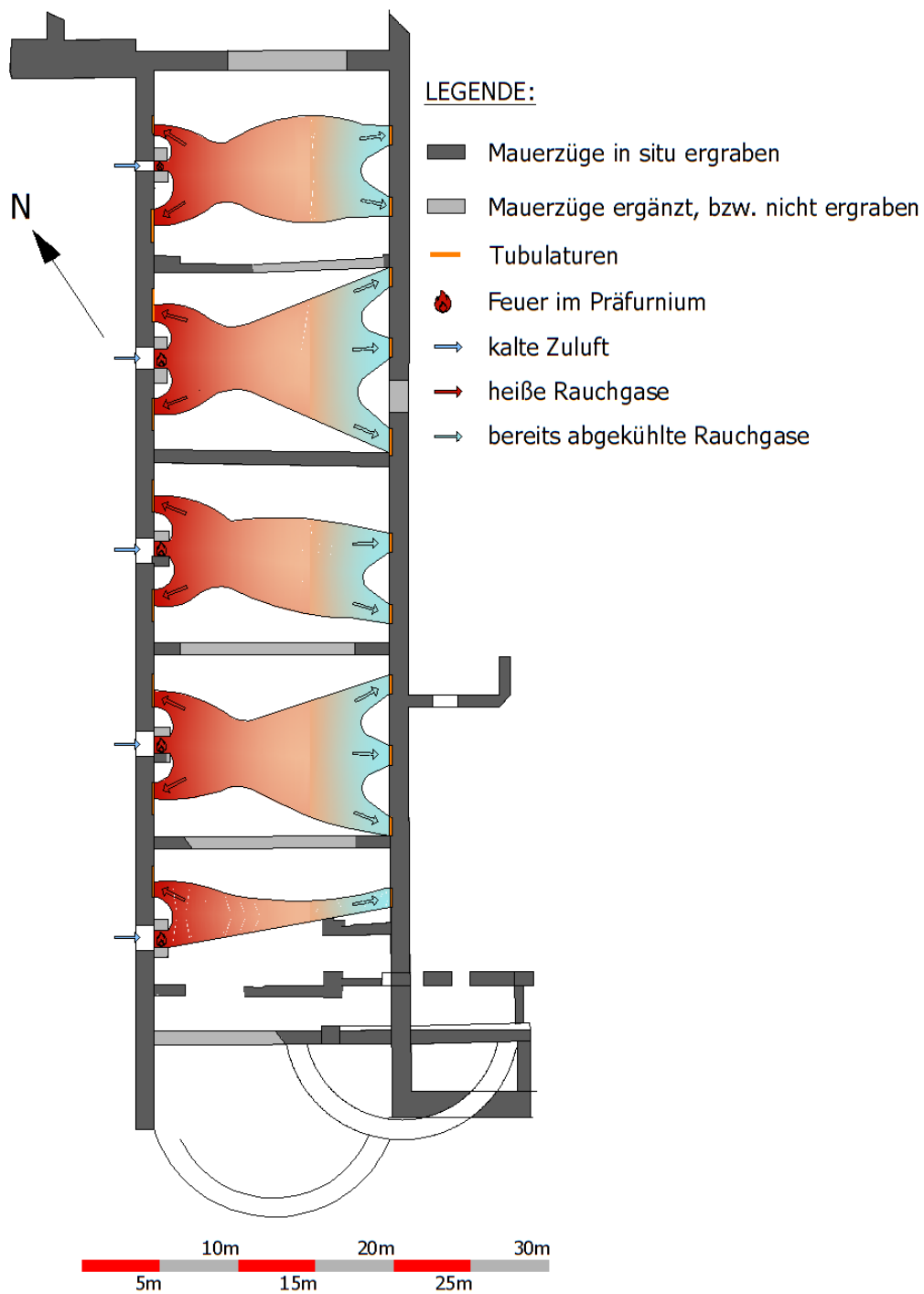


Abb. 12: Rom, Villa des Maxentius, Gebäude L1: schematische Darstellung der optimierten Durchströmung mit nunmehr gedrosselten Abzügen auf der Seite der *praefurnia*.

Die heißen Rauchgase strömen jetzt zum größten Teil von den *praefurnia* durch das Hypokaust zu den gegenüber liegenden Abzügen und erwärmen den Boden (die *suspensura*) großflächiger. Dadurch dass die Rauchgase auf ihrem Weg die *suspensura* erwärmen, geben sie Wärme ab

und werden zu den gegenüber liegenden Abzügen hin immer kühler – ihre Heizleistung nimmt dort daher ab (Abb. 2). Das ist bei einer Hypokaustheizung normal und kaum vermeidbar²³. Bei längerem Heizbetrieb verteilt sich die Wärme allerdings – bedingt durch die Wärmeleitfähigkeit der *suspensura* – seitlich der Wärmeströmungen besser über die gesamte Raumfläche als es die schematisch dargestellte Durchströmung vermuten lässt. Die erwünschte Durchströmung wird im Fall von L1 zusätzlich durch die Lage der *praefurnia* begünstigt, die – vom Architekten heiztechnisch so gewünscht, oder durch Zufall – in der Westmauer angeordnet sind. Wenn man davon ausgeht, dass auch in römischer Zeit, so wie heute²⁴, tendenziell der Wind aus westlicher Richtung kam, so entstand dadurch einerseits auf der Westseite des Gebäudes ein Druck durch die *praefurnia* in das Hypokaust und andererseits auf der gegenüberliegenden Ostseite ein Unterdruck, der einen Sog aus den Abzügen bewirkte. Dadurch konnte die Leistung der Heizung erhöht und die Durchströmung verbessert werden. Ob die *praefurnia* einzeln in offenen, nur überdachten Gruben oder – wie es bei Repräsentativbauten häufig vorkommt – in einem unterirdischen Gang angeordnet waren, lässt sich aus heutiger Sicht nicht beurteilen. Die Anordnung: eingebaut in unterirdischen Gängen bringt eher Nachteile, weil dann die oben geschilderte windgestützte Durchströmung des Hypokausts zumindest behindert wird. In den nördlichen Provinzen ist sie eher selten anzutreffen. Unabhängig davon sind die geschilderten mehrfachen Umbauten ein klarer Hinweis darauf, dass die Heizung im Gebäude L1 mehrmals einige Zeit in Betrieb gewesen sein muss, denn sonst wären die Probleme weder erkennbar, noch behebbar gewesen. Die Entwicklung im Gebäude L1 hat sich anscheinend bei der Planung der Palastaula (M) ausgewirkt, denn Anzahl und Anordnung der Abzüge in der Palastaula lassen ebenfalls darauf schließen, dass die Anlage in L1 bereits vor dem Baubeginn der Aula einige Zeit in Betrieb gewesen war, und der Baumeister aus den dort aufgetretenen Problemen gelernt hat. Doch dazu später. Ob die Heizung in der Lage war, den Wärmebedarf des Gebäudes zu decken, lässt sich nicht exakt berechnen, weil dazu, abgesehen vom Grundriss, keine Informationen über Nutzung, Form und Ausführung des Baus vorliegen, die dazu notwendig sind. Allerdings lassen die im Gegensatz zu den Provinzen im Norden (damals vermutlich wie heute) milden Wintertemperaturen²⁵, die Raumgeometrie und die Aufteilung der Hypokaustheizung in fünf Abteile mit je ca. 91m² bei aller gebotenen Vorsicht die Vermutung zu, dass eine angenehme Raumtemperatur erreichbar war; vorausgesetzt, der Raum war

²³ Kretzschmer 1953, 32.

Lehar 2012, 118. 120.

²⁴ IL METEO 2016, 1 f.

²⁵ Mangianti – Leone 2008, 172–177.
Stazione Meteorologica, 1–4.

wesentlich niedriger als die benachbarte Palastaula. Bei dieser Besprechung des Gebäudes L1 wurden grundsätzliche Eigenschaften und Eigenheiten von Hypokaustheizungen bewusst ausführlich behandelt, weil diese Tatsachen ebenso auf die weiteren beschriebenen Objekte zutreffen und daher dort nicht mehr so detailliert besprochen werden müssen.

Die Palastaula der Villa des Maxentius

Die Bearbeitung erfolgte auf Basis der Dokumentation über die Villa des Maxentius von G. Pisani und R. Calza²⁶, sowie eigener, ausführlicher Untersuchungen und Vermessungen vor Ort. Dazu kamen noch die Auswertungen der geophysikalischen Untersuchungen durch ein Team des Archäologischen Instituts der Universität Köln unter Leitung von M. Broisch 2016²⁷. Die Ausgrabung erfolgte in den Jahren 1965-1967²⁸; es wurden aber nicht alle Bereiche des Gebäudes ergraben (Abb. 13):



Abb. 13: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: Ansicht in Richtung Norden: im Vordergrund das teilweise ausgegrabene Hypokaust. Am Ende dieses Bereichs ist die Stufe zu dem noch nicht ausgegrabenen Teil des Hypokausts erkennbar; an dessen Ende dann die erhaltenen Reste der Apsis.

²⁶ Pisani Sartorio – Calza 1976, 91–94.

²⁷ Broisch 2016, 1–7.

²⁸ Pisani Sartorio – Calza 1976, 91 Anm. 100.

Trotzdem hat der Verfasser versucht, einen möglichst exakten Grundriss zu rekonstruieren. Basis waren der Grabungsplan von G. Pisani Sartorio, eine ausführliche Befundaufnahme gemeinsam mit H. Manderscheid sowie die geophysikalischen Untersuchungen der Universität Köln (Abb. 14):

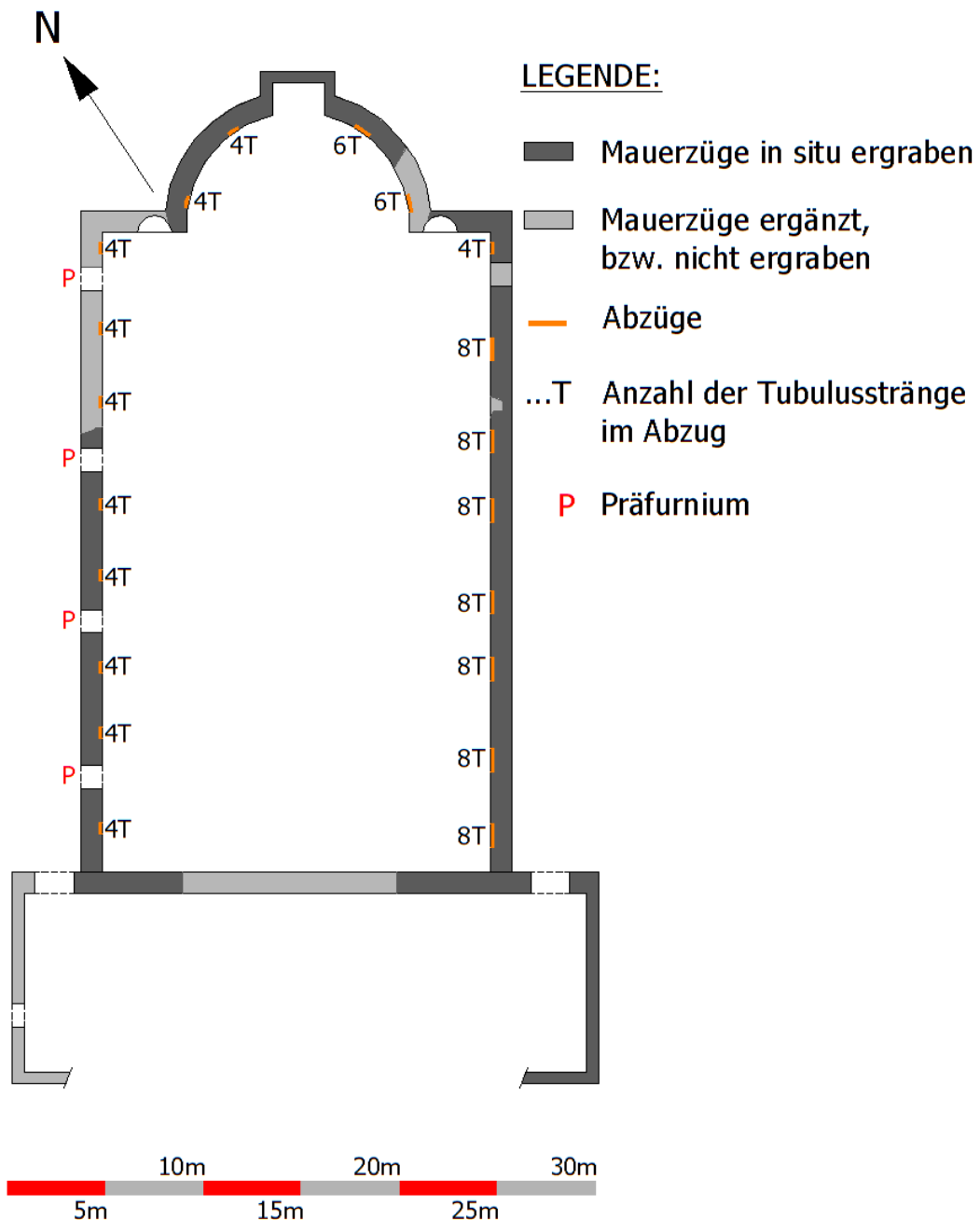


Abb. 14: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: Grundriss auf Basis des Grabungsplans von G. Pisani Sartorio, R. Calza 1976; einzelne Mauerzüge und Bauteile ergänzt, Abzüge mit Anzahl der Tubulusstränge gemäß eigener Befundaufnahme und geophysikalischer Untersuchungen der Universität Köln.

Die Hypokaustheizung mit ca. 670 m² dürfte ähnlich der im Gebäude L1 geplant gewesen sein. Zur Ausführung sind aber nur einige Teile gekommen, weil die Bauarbeiten offenbar schon in einem frühen Stadium abgebrochen wurden (Tod des Maxentius?).

Man kann davon ausgehen, dass das Hypokaust durch Zwischenwände in drei Abteilungen mit durchschnittlich je ca. 164 m² plus einer weiteren, mit incl. der Apsis ca. 178 m² aufgeteilt werden sollte. Drei heute sichtbare bogenförmige Durchbrüche (Abb. 15) in der Westwand waren vermutlich als künftige *praefurnia* gedacht.



Abb. 15: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: eines der *praefurnien* in der Westwand.

Ein viertes für den nördlichen Bereich war sicher vorhanden und lässt sich auf Basis der Abstände im Laserscan gut positionieren. Analog zu L1 hätte die Hypokaustheizung nach ihrer Fertigstellung vermutlich so aussehen sollen (Abb. 16):

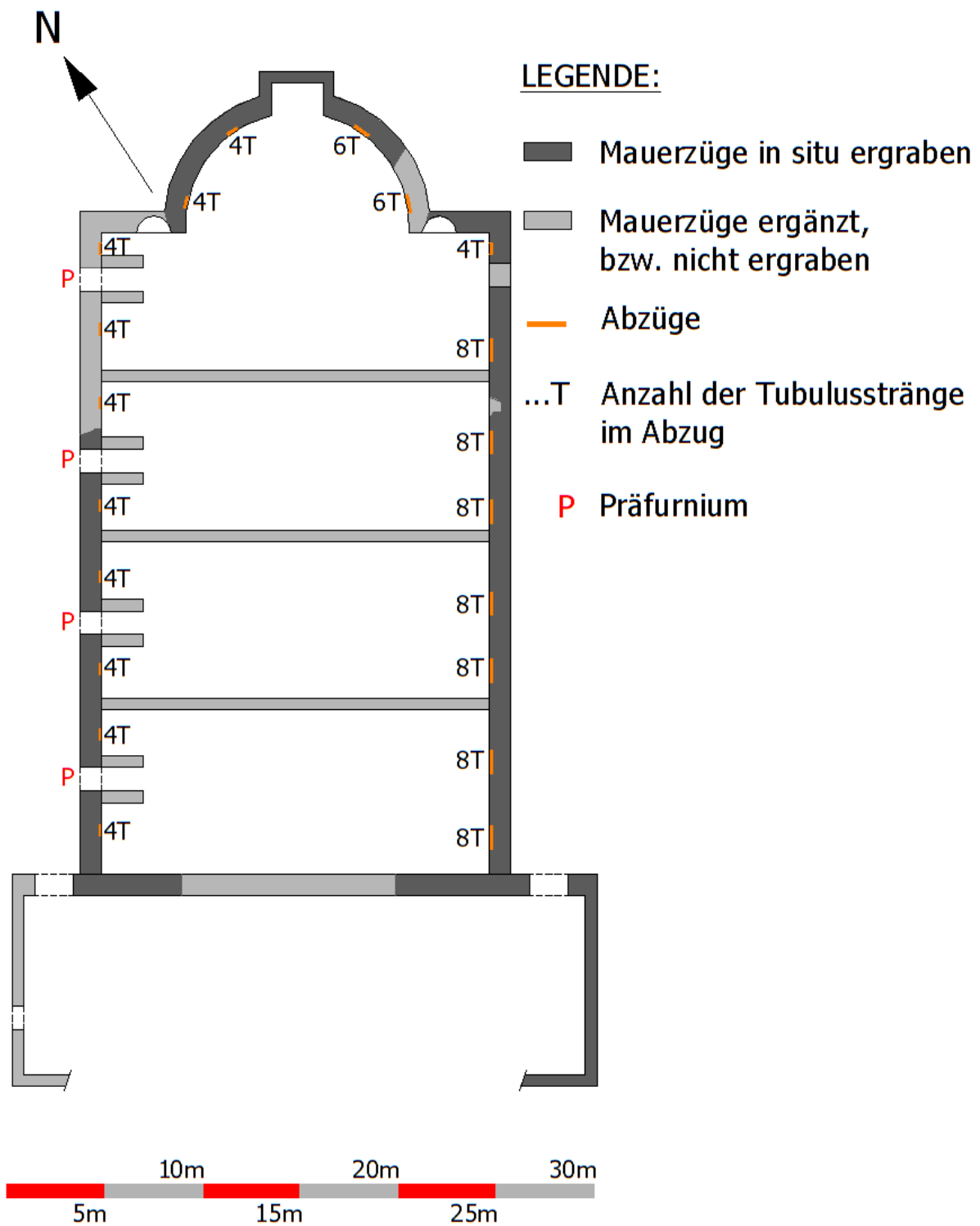


Abb. 16: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: Plan des Hypokausts auf Basis von Abb. 14, ergänzt durch beim Bau nicht mehr ausgeführte oder nicht mehr vorhandene bzw. nicht ergrabene Teile (Zwischenwände, Zungenmauern). Für die heizungstechnische Betrachtung nicht nötige Bauteile (ältere oder neuere Mauerzüge etc.) wurden weggelassen.

Der Außenbereich der *praefurnia* wurde nicht mehr ausgeführt, ihr unausgebauter Zustand und ältere Strukturen in diesem Bereich, die einer Bedienung entgegenstehen, zeigen das. Nach Ansicht des Autors waren sie einzeln eingetieft (ohne Verbindungsgänge) geplant. Die Ausrichtung der Aula parallel zu L1 hätte auch hier die bei L1 geschilderten Vorteile bringen können. Wegen der eingetieften Lage lässt sich aber auch die Möglichkeit eines unterirdischen Bedienungsganges nicht völlig ausschließen. Die Außenmauern lassen an der Innenseite durch einen Wechsel in der Ausführung der Ziegel die Höhe des geplanten Hypokausts von ca. 1 m erkennen, das aber nicht weiter ausgeführt wurde (Abb. 17):

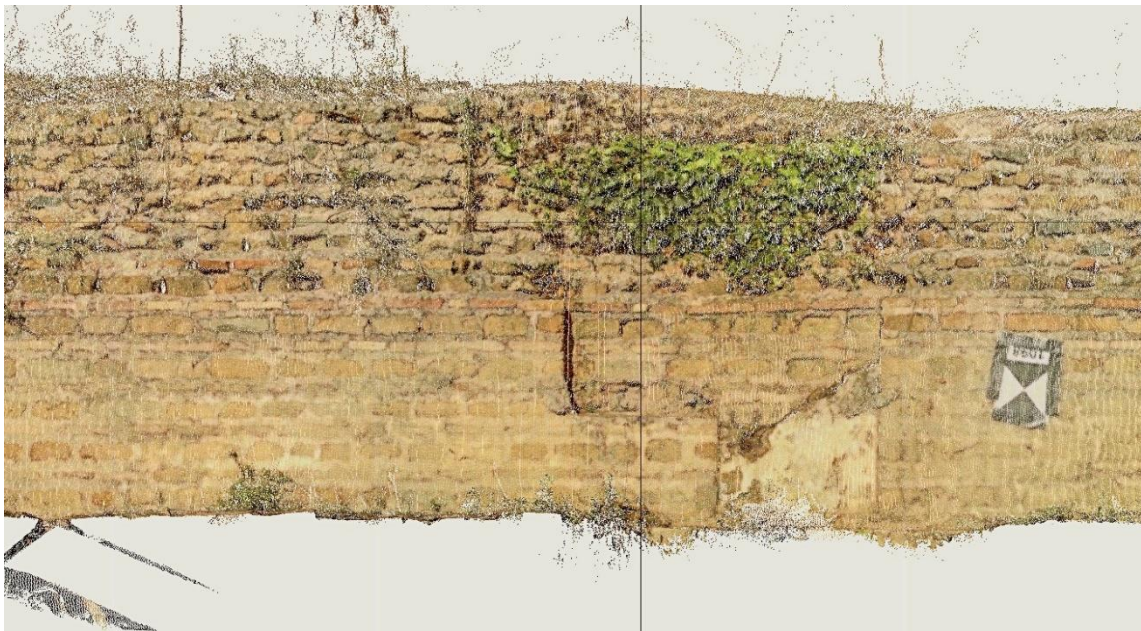


Abb. 17: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: im Laserscan (Ausschnitt) lässt sich die geplante Höhe des Hypokausts gut erkennen.

Es sind keine Spuren von Pfeilern im ausgegrabenen Bereich vorhanden, und auch im nicht ergrabenen Apsisbereich gibt die Geoprospektion nicht den geringsten Hinweis auf das Vorhandensein von Pfeilern²⁹. Ein Hypokaust sollte idealerweise in der Geoprospektion so aussehen (Abb. 18):

²⁹ Broisch 2017, 1.
vergl. Broisch, App. 2.

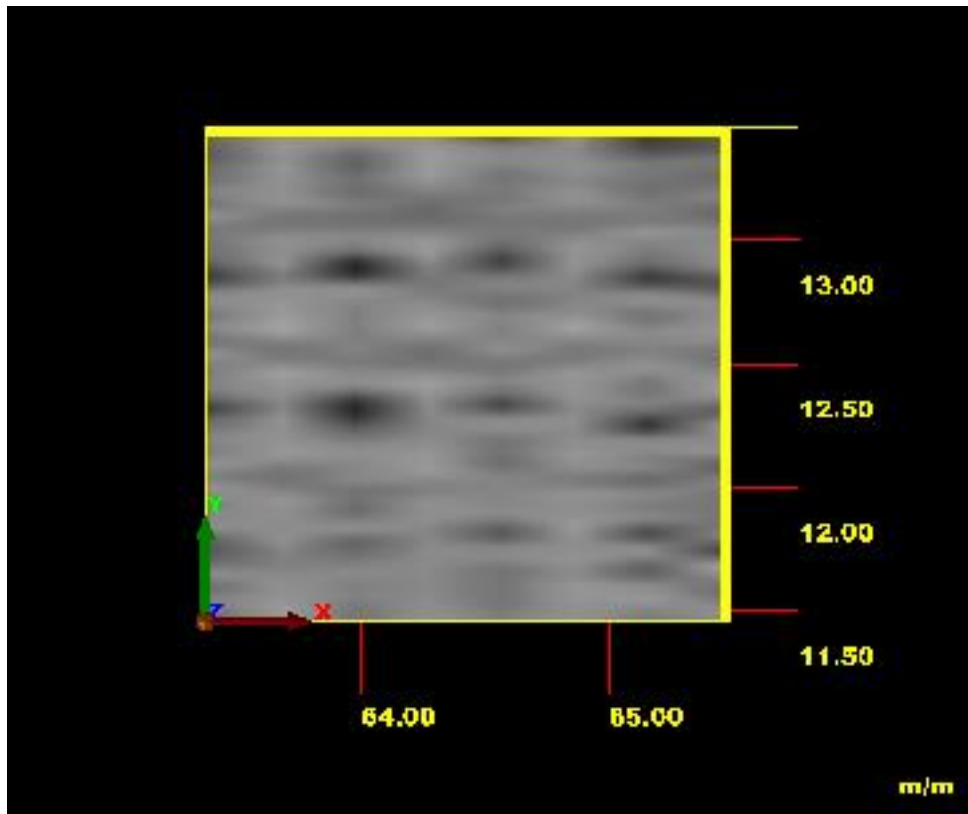


Abb. 18: im Bild einer Geoprospektion eines intakten Hypokausts sind normalerweise die Hypokaustpfeiler erkennbar.

Die Bilder aus dem nicht ergrabenen Boden vor und in der Apsis zeigen im Gegensatz dazu keinerlei Strukturen, die auf ein Hypokaust schließen lassen³⁰ (Abb. 19):



Abb. 19: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: Ausschnitt eines Bodenradarbilds der Apsis.

³⁰ Broisch 2017, 1.

Interessanterweise sind auch keine Bruchstücke von herabgestürzten Mauern der Apsis erkennbar, obwohl dies zu erwarten gewesen wäre.

Im ergrabenen Bereich sind außerdem ältere oder jüngere Mauerstrukturen erkennbar, die keinesfalls mit einem Hypokaust vereinbar sind³¹ (Abb. 20):

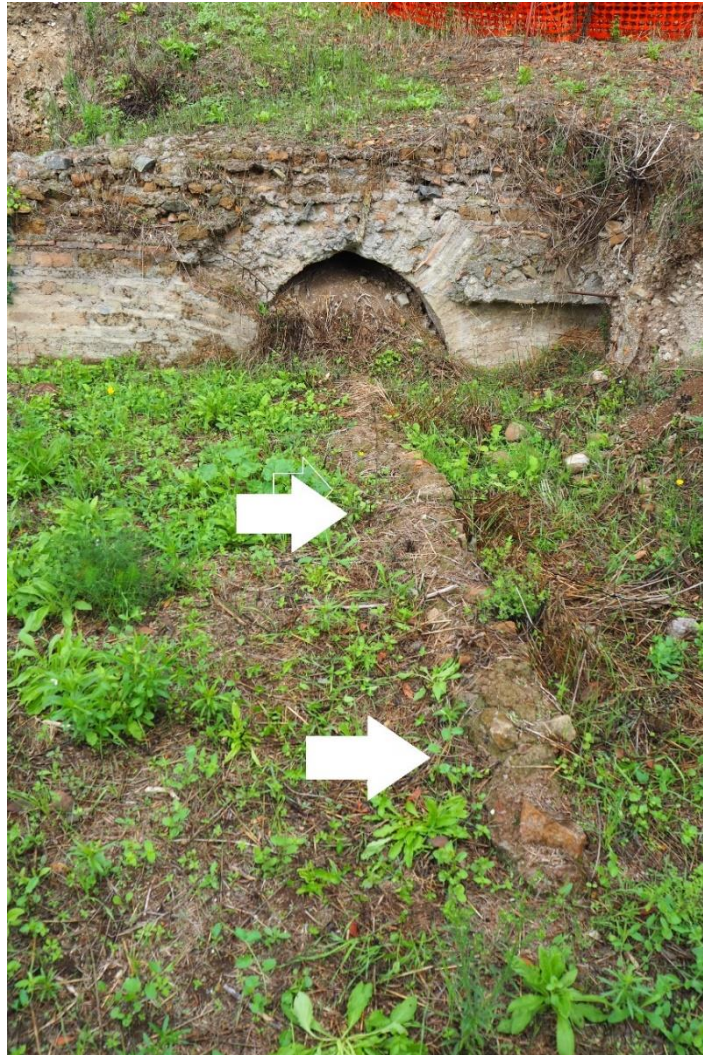


Abb. 20: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: älterer oder jüngerer Mauerzug, der quer durch das Hypokaust in die Öffnung eines *praefurniums* hineinläuft.

Deshalb sind wahrscheinlich nicht nur die Trennmauern der vier Hypokaustabteile, sondern auch die notwendigen ›Zungenmauern‹ der *praefurnia* nicht zur Ausführung gekommen.

³¹ Broisch 2017, 1.
vergl. Broisch, App. 2.

Baureste im Bereich der Westecke des Hypokaustbereichs werden gelegentlich als Indiz für eine *suspensura* angeführt, bei näherer Betrachtung zeigt sich aber, dass weder deren Position (zu tief) noch ihr Material (Mörtel mit ganzen Ziegeln versetzt, keine Anzeichen für keramische Trägerplatten oder eine Auflagemöglichkeit einer *suspensura* im Wandbereich) mit einer solchen vereinbar sind. Es dürfte sich wohl eher um Reste eines späteren Einbaus handeln (Abb. 21):



Abb. 21: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: Mörtelreste eines wohl späteren Einbaus.

Sehr wohl vorhanden sind aber die Abzüge in der West- und der Ostwand. An ihnen kann man erkennen, dass der römische Baumeister aus seinen Fehlern im Gebäude L1 gelernt hatte. Die Anzahl der Tubulusstränge in den Seitenwänden ist nämlich hier im ergrabenen Bereich unterschiedlich und sinnvoll. In der Ostwand verlaufen 60 Stränge, in der Westwand, in der sich die *praefurnia* befinden, jedoch nur 32. Die davon nicht ergrabenen Stränge im nördlichen Bereich waren sicher vorhanden und lassen sich auf Basis des Laserscans durch Fortschreiben der Anordnung der sichtbaren Stränge gut positionieren (Abb. 14 u. 16). Der Schwerpunkt der Abzüge liegt jetzt gegenüber den *praefurnia*, wo er auch hingehört. Auch in der Apsis liegt der Schwerpunkt der Abzüge heiztechnisch richtig mit 12 Strängen im östlichen Teil gegenüber nur 8 Strängen im westlichen. Für den Verfasser ist das, zusammen mit den Ausführungen zu L1, ein klarer Hinweis dafür, dass L1 älter als die Aula ist, fertig gebaut wurde, und sein

Hypokaust in Betrieb genommen worden ist. Die Heizung der Aula hätte – wenn sie fertig gestellt worden wäre – über eine gute Durchströmung verfügt (Abb. 22):

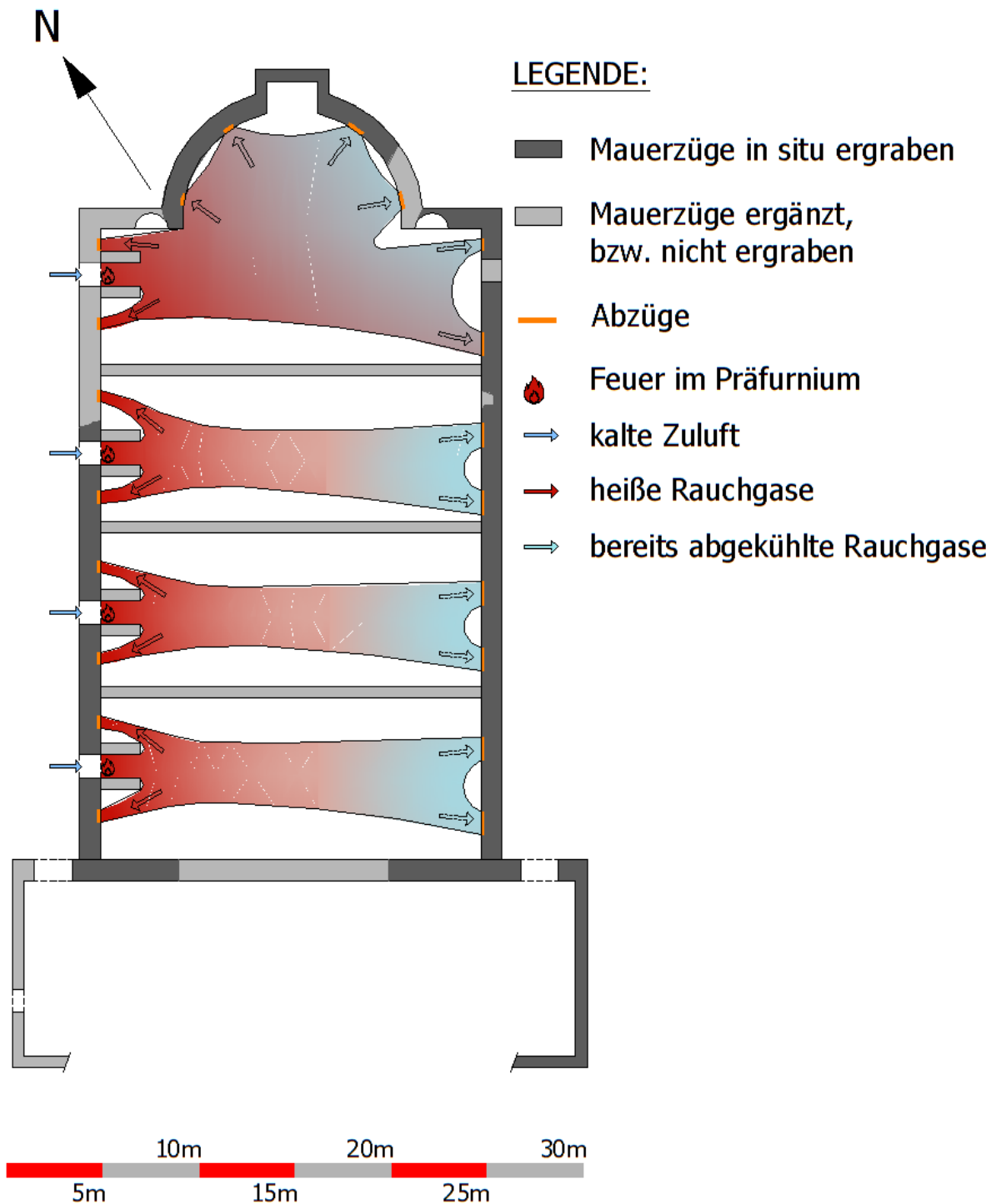


Abb. 22: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: schematische Darstellung der optimierten Durchströmung der Hypokaustabteile; Durch die Wärmeleitfähigkeit der *suspensura* werden mit fortwährendem Heizbetrieb auch die Flächen seitlich der Wärmeströme (wenn auch weniger) erwärmt.

Nachteilig wirkt sich für die Wärmeverteilung aus, dass das Hypokaust fast doppelt so breit ist wie das in L1. Dadurch sind die Rauchgase in dessen östlichem Teil sehr stark abgekühlt, die Heizleistung in diesem Teil des Raums daher nur äußerst gering. Zur Veranschaulichung: Bei Messungen in der rekonstruierten ›Villa Urbana‹ in Carnuntum bei einer Außentemperatur von -3°C sank die Temperatur des beheizten Fußbodens von 58°C im Bereich des *praefurnium* nach 15 m im Bereich der Abzüge auf 24°C ³². Das bedeutet, auf die Heizleistung bei einer damals gemessenen durchschnittlichen Raumtemperatur von 21°C bezogen, einen Leistungsabfall auf einer Strecke von 15 m von $441\text{W}/\text{m}^2$ auf nur mehr $33\text{W}/\text{m}^2$ (das sind nur mehr 7,5%!). Neben Unbehaglichkeit bewirkte das dort stark fühlbare unangenehme Zugserscheinungen³³. Bei der Palastaula haben wir es aber nicht mit 15, sondern sogar mit 19,5 m zu tun, die Erscheinungen wären also noch stärker fühlbar gewesen.

Die vergleichbare Palastaula in Trier hatte vermutlich aus dem gleichen Grund (allerdings bei einer Gesamtbreite von $27,2\text{ m}$ ³⁴) in jedem Teil des Hypokausts mehrere *praefurnien*, die auf verschiedenen Seiten des Baus positioniert waren, um diese unangenehme Erscheinung zu vermeiden. Dies ist mit den bei L1 genannten Gründen ein maßgeblicher Grund, dass hier eine Aussage darüber, ob die Heizung für die zudem sehr hohe Aula leistungsfähig genug gewesen wäre, nicht möglich erscheint. Es bleiben einige Fragen offen:

Warum fast alle *tubuli* in ihren Mauernischen verputzt und so weit heruntergezogen wurden, dass sie bündig auf dem Boden aufstehen, kann – wenn überhaupt – eventuell dadurch erklärt werden, dass die Stränge von unten nach oben aufgebaut wurden, zu ihrem Schutz während der Bauzeit verputzt waren, und sie erst nach der Fertigstellung der aufgehenden Mauern und des Hypokausts unten geöffnet werden sollten. Sehr schlüssig wäre das Vorgehen trotzdem nicht.

³² Lehar 2012, 246 Abb. 228.

³³ Lehar 2012, 246 Abb. 229.

³⁴ Jürgens 2014, 1.



Abb. 23: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: bis zum Unterboden des Hypokausts heruntergezogene, verputzte Tubulusstränge an der Westseite der Palastaula.

Noch seltsamer ist die Ausführung der – an sich richtig angeordneten und dimensionierten – vier Abzüge im Bereich der Apsis mit je vier bzw. sechs Tubulussträngen. Die beiden äußeren Abzüge waren zwar unterschiedlich breit, aber vermutlich symmetrisch angeordnet und hatten eine erkennbare Höhe von 7 m. Bei dem westlichen Abzug erkennt man am oberen Ende den Ansatz für einen kleinen (bei einer Restaurierung verschlossenen?) Durchbruch nach außen, der dort zwar sinnvoll, aber im Verhältnis zu seinen vier Tubulussträngen viel zu klein gewesen wäre.



Abb. 24: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: Ansatz für einen Durchbruch nach außen im westlichen Abzug der Apsis.

Der östliche wird wohl genauso ausgesehen haben. Unklar ist allerdings der Sinn des Verlaufs der beiden innen liegenden Abzüge, die unmotiviert bei den Fensterbänken der Nischen enden (beim westlichen klar ersichtlich, beim östlichen aus Gründen der Symmetrie anzunehmen) (Abb. 25):



Abb. 25: Rom, Villa des Maxentius, Palastaula: die beiden Abzüge, die in einer Fensteröffnung enden; links im Bild der westlichste Abzug der Apsis in voller Höhe.

War es ein Planungsfehler, eine nachträgliche Umplanung, und wollte man deshalb notgedrungen die Rauchgase im Bereich der Fenster ins Freie abziehen lassen? Eine heiztechnisch logische Begründung erscheint schwer möglich, denn verschieden hohe Abzüge im selben Bereich machen normalerweise wegen ihres unterschiedlichen Zugverhaltens Probleme. Bei der rekonstruierten ›Villa Urbana‹ im Archäologischen Park von Carnuntum funktioniert eine vergleichbare Anordnung – wie der Verfasser feststellte – allerdings trotzdem einigermaßen. Möglicherweise weil die Heizgase in den kürzeren Abzügen weniger abkühlen und daher mehr Auftrieb (Zug) entwickeln und dadurch die fehlende Höhe kompensieren. Zu dem der Aula quer vorgelagerten ›Vestibül‹ (Saal N) kann der Verfasser keine sinnvolle Aussage machen, mangels großflächiger Ausgrabung ist zu wenig erkennbar.

Der sogenannte Tempel der Minerva Medica in Rom

Die Bearbeitung dieses Objekts erfolgte auf Basis der Fotos und Handskizzen von F. W. Deichmann aus seiner Grabung des Jahres 1942 (Archiv DAI), den Beiträgen von M. Strettler³⁵, A. Biasci³⁶, M. Barbera et. al.³⁷, einem Fachgespräch mit S. Barrano³⁸ und der eigenen Begutachtung der heute sichtbaren Befunde vor Ort durch den Autor gemeinsam mit H. Manderscheid und H. Mayregger. Leider ist der Originalzustand auf Grund umfangreicher Restaurierungen in der Vergangenheit nicht immer zweifelsfrei erkennbar.

Der beeindruckende überkuppelte Rundbau hat einen inneren Durchmesser von ca. 25 m. Seine Höhe dürfte ca. 32 m betragen haben³⁹. Seine Innenseite ist in einen Eingangsbereich und neun Apsiden gegliedert, von denen drei mit einer Hypokaustheizung ausgestattet sind.



Abb. 26: Rom, Tempio di Minerva Medica; Außenansicht von Nord-Ost (Eingangsbereich).

³⁵ Strettler 1957, 123-129.

³⁶ Biasci 2003, 145-182.

³⁷ Barbera et al. 2007, 1-21.

³⁸ persönliche Mitteilung S. Barrano, Leiter der letzten Grabung und der aktuellen Restaurierungsarbeiten im Tempio di Minerva Medica anlässlich der Begehung des Bauwerks 2016.

³⁹ Borghini 2012, 1.

Auf Basis verschiedener Pläne, Grabungsskizzen und Fotos wurden für die archäologisch–heizungstechnische Betrachtung der folgende vereinfachte Grundriss des Kernbaus sowie verschiedene Einzelpläne erstellt.

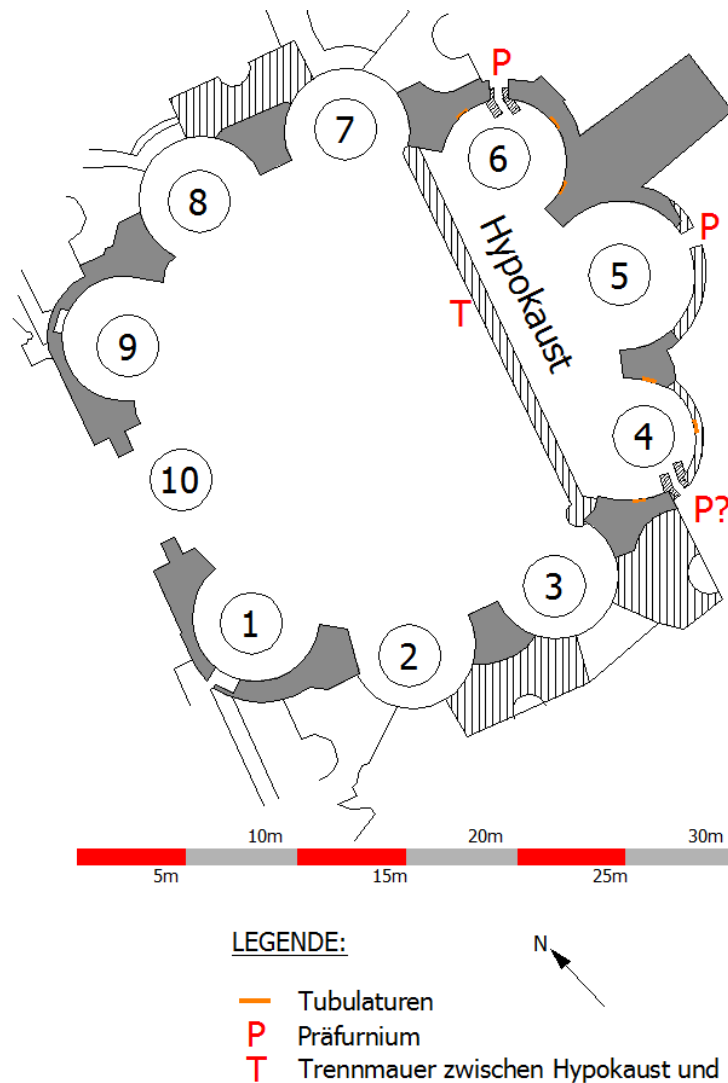


Abb. 27: Rom, Tempio di Minerva Medica; vereinfachter Grundriss des Kernbaus.

Ein derart großes und hohes Gebäude mit großen Fenstern, die vermutlich nicht komplett verschlossen werden konnten⁴⁰, ist schon mit einer vollflächigen Hypokaustheizung nicht beheizbar. Noch viel weniger mit einer, die nur einen kleinen Teil der Bodenfläche erwärmt. Es liegt also zunächst die Vermutung nahe, es könnte sich um einen nachträglichen Einbau in einen später abgetrennten Bereich des Gebäudes handeln. Das ist aber offensichtlich nicht der Fall gewesen:

⁴⁰ persönliche Mitteilung S. Barrano, Leiter der letzten Grabung und der aktuellen Restaurierungsarbeiten im Tempio di Minerva Medica anlässlich der Begehung des Bauwerks 2016.

- Es gibt nicht den geringsten Hinweis auf eine räumliche Abtrennung⁴¹.
- Das Hypokaust ist gegenüber dem Laufhorizont des restlichen Gebäudes eingetieft. Nachträglich eingebaute Hypokaustheizungen wurden meistens einfach auf den vorhandenen Boden aufgebaut.
- Die Mauer, die das Hypokaust gegen das anstehende Erdreich des Gebäudes abgrenzt⁴², ist so ausgeführt, dass sie nicht nachträglich eingebaut worden sein kann⁴³.
- Die Öffnungen der *praefurnien* sind offensichtlich bereits beim Bau der Außenmauern mit ausgeführt worden (Abb. 28).
- Die Ausnehmungen zur Aufnahme der *tubuli* der Abzüge sind offensichtlich bereits bei der Errichtung der Außenmauern ausgespart und nicht nachträglich herausgestemmt worden (Abb. 42 u. 43).



Abb. 28: Rom, Tempio di Minerva Medica; *praefurnium* der Apsis 6 (Außenansicht).

Wenn die Hypokaustheizung zur Beheizung des gesamten Gebäudes nicht geeignet war, und auch kein dafür geeigneter abgeschlossener Raum vorhanden war, was war dann ihr Zweck?

⁴¹ persönliche Mitteilung S. Barrano, Leiter der letzten Grabung und der aktuellen Restaurierungsarbeiten im Tempio di Minerva Medica anlässlich der Begehung des Bauwerks 2016.

⁴² Barbera et al. 2014, 264.
Barbera et al. 2007, 6 Abb. 6a, 7 Abb. 6b.
Biasci 2003, 149-153.

⁴³ Deichmann 1942, Skizze 19a.
Barbera et al. 2007, 6 Abb.6a.
persönliche Mitteilung S. Barrano, Leiter der letzten Grabung und der aktuellen Restaurierungsarbeiten im Tempio di Minerva Medica anlässlich der Begehung des Bauwerks 2016.

Eine vergleichbare Situation findet man in unserer Zeit bei der Beheizung von großen, alten Kirchen. Deren gesamtes Raumvolumen ist ebenfalls praktisch nicht sinnvoll beheizbar. Es wurden im 20.Jh. mit meist unbefriedigendem Resultat Beheizungen durch den Einbau von Warmluftheizungen versucht. Dabei steigt die eingeblasene warme Luft sofort auf kürzestem Weg im Kirchenschiff auf; im Bereich der Emporen wird es viel zu warm, in dem unteren Bereich des Kirchenschiffs, in dem sich Priester und Gläubige aufhalten, bleibt es kalt. Gar nicht davon zu reden, dass wertvolles Interieur austrocknet und verstaubt wird.

In vielen Fällen wurde stattdessen eine Lösung mit dem Einsatz von Warmwasser-Fußbodenheizungen (FBH) gefunden⁴⁴. Der Verfasser hat in seiner beruflichen Tätigkeit vor seinem Studium der Archäologie selbst solche Lösungen geplant.

Natürlich kann man eine große gotische Kirche mit FBH nicht zur Gänze beheizen. Sehr gut möglich ist es aber, in den Bereichen, in denen sich Personen aufhalten, den Boden gezielt zu erwärmen.



Abb. 29: Freistadt (Österreich); Innenansicht der fünfschiffigen Pfarrkirche („Katharinenmünster“); diese Kirche ist seit 1988 mit einer (vom Autor geplanten) gezielt verlegter FBH beheizt, nachdem eine vorher eingebaute Warmluftheizung nicht den gewünschten Erfolg gebracht hatte.

⁴⁴ vergl. Peschak 1983, 17.

Welcher Effekt wird dadurch erzielt?

- Die Wärmezufuhr erfolgt gezielt genau dort, wo sie erwünscht ist (= wo sich Personen aufhalten).
- Die Füße und die Beine der Benutzer werden erwärmt, was für die Behaglichkeit sehr wichtig ist. Mit kalten Füßen fühlt sich der Mensch auch in geheizten Räumen nicht wohl⁴⁵.
- Die Wärme steigt natürlich auch bei dieser Heizung auf und sammelt sich letztlich im oberen Bereich des Bauwerks. Aber auf dem Weg dorthin streicht sie aufwärts entlang der Beine und der Körper der Benutzer und erwärmt diese.
- Außerdem erfolgt die Wärmeabgabe des Bodens kaum durch Konvektion sondern überwiegend in Form von Wärmestrahlung, also in einer für die meisten Menschen sehr angenehm empfundenen Form, ähnlich der Wärmeabgabe eines Kachelofens⁴⁶.

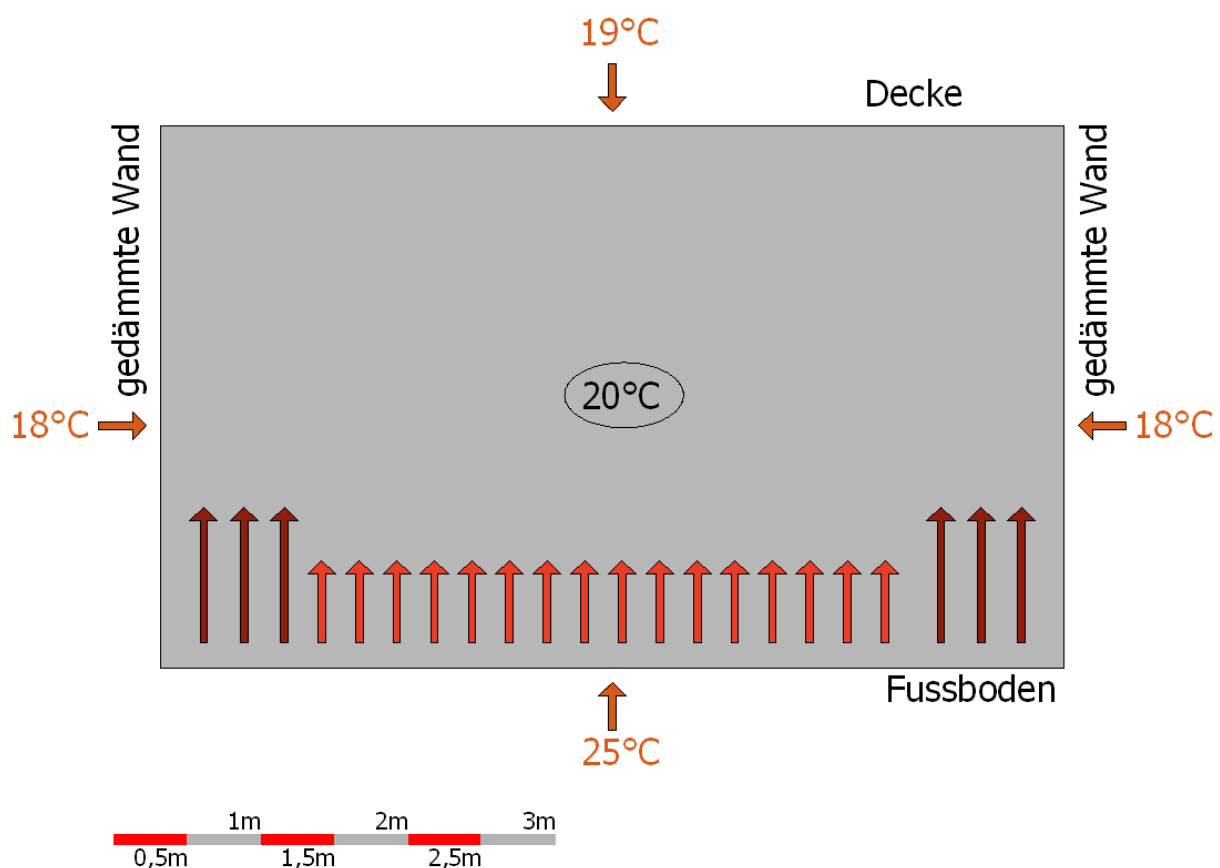


Abb. 30: Wärmeabgabe des Estrichs durch Wärmestrahlung bei einer modernen Fußbodenheizung.

⁴⁵ Kollmar 1980, 23, 45.

Peschak 1983, 2, 8, 47.

⁴⁶ Kollmar 1980, 41.

Eine sehr ähnliche Lösung finden wir im Tempio. Allerdings scheinen die Erbauer des Tempios nicht nur eine Beheizung, sondern auch eine sanfte Kühlung beabsichtigt zu haben.

Natürlich ist der Tempio keine Kirche, er war vermutlich Teil eines Palastkomplexes (*horti Pallantiani, horti Epafroditiani, oder horti Liciniani*⁴⁷). Zahlreiche Reste von Wasserleitungen, Auslässen und Kanälen⁴⁸, sowie die Nähe eines Aquädukts⁴⁹ lassen darauf schließen, dass es sich bei diesem Bau um ein *nymphäum*⁵⁰ gehandelt hat, oder dass es andere Wasserspiele⁵¹ enthielt. Zwar gibt es auch andere Deutungen, aber diese scheint dem Verfasser am wahrscheinlichsten und daher hat er sie seinen Überlegungen zu Grunde gelegt. Allerdings scheint der beheizbare Teil auf eine darüber hinausgehende Nutzung hinzuweisen. Er war wohl zunächst als Aufenthaltsbereich gedacht, in dem sich die Palastbewohner im Sommer nicht nur am Anblick der Wasserspiele und der prächtigen Ausstattung mit Marmor, Wandmalereien und *opus sectile*⁵² erfreuen, sondern auch die vom Wasser ausgehende Kühle genießen konnten. Verstärkt konnte dieser Effekt noch durch den Luftzug werden, der durch die Fensteröffnungen in den Lichtgaden quer durch den Kuppelbereich zog und dort eine übermäßige Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung verhinderte, jedoch – wenn überhaupt – im Sommer kaum Zugscheinungen im Aufenthaltsbereich verursachte. Denn die durch die Kuppel streichende Luft war im Sommer wärmer als jene im Bereich der Wasserspiele und sank daher kaum herunter. Wir haben es hier mit einer Klimatisierung unter Einsatz rein physikalisch – natürlicher Mittel zu tun.

Alle nachstehenden hypothetischen Darstellungen der wahrscheinlichen Luftströmungen sind vereinfacht und gehen davon aus, dass die Fenster in den Lichtgaden zumindest teilweise nicht verschlossen⁵³ und das Tor in 10 (Abb. 27) geschlossen waren.

⁴⁷ Barbera et. al 2014, 255, 261.

Biasci 2003, 145, 175.

Strettler 1957, 138.

⁴⁸ Biasci 2003, 156f, 162.

⁴⁹ Biasci 2003, 170 Abb. 44, 171f.

⁵⁰ Barbera et al. 2014, 264.

Biasci 2003, 145.

Strettler 1957, 124.

⁵¹ Strettler 1957, 124, 126.

⁵² Biasci 2003, 164, 174.

Strettler 1957, 124.

⁵³ persönliche Mitteilung S. Barrano, Leiter der letzten Grabung und der aktuellen Restaurierungsarbeiten im Tempio di Minerva Medica anlässlich der Begehung des Bauwerks 2016.

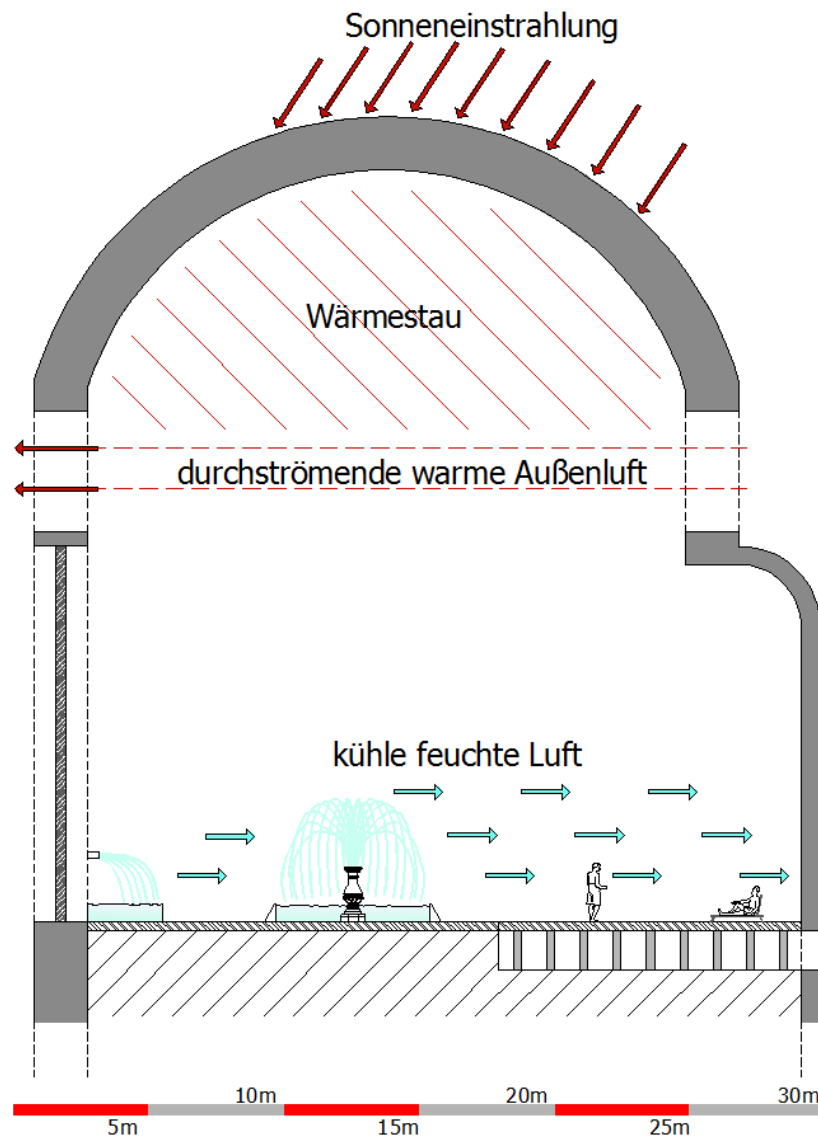


Abb. 31: Rom, Tempio di Minerva Medica; vereinfachte schematische Darstellung: kühle Luft strömt von den Wasserspielen in den Aufenthaltsbereich; im Bereich der Kuppel führt die durch die Fensteröffnungen der Lichtgaden strömende Außenluft den Wärmestau, der durch die Sonneneinstrahlung entsteht, teilweise nach außen ab.

Nahe liegt daher eine Verwendung des Gebäudes auch als Sommer-*triclinium* oder als Raum für die Veranstaltung von Banketten⁵⁴.

Wozu aber eine Hypokaustheizung in einem Sommer-*triclinium*?

Auch in Rom ist es vor und nach dem Sommer kühler, ein liegender Aufenthalt in einem durch Wasserspiele gekühlten Speiseraum wäre dann nicht angenehm gewesen. Andererseits war der Tempio wohl ein sehr attraktiver Aufenthaltsort, den die Palastbewohner gerne länger benutzt hätten.

⁵⁴ Barbera et al. 2014, 255, 265.

Um das zu ermöglichen, war die Hypokaustheizung ein geeignetes Mittel. Die Situation ist heiztechnisch mit der in einer Kirche durchaus vergleichbar (siehe oben), schließlich ist eine Hypokaustheizung auch eine Form der Fußbodenheizung.

Wie bei der Beschreibung der modernen Kirchenheizung ausgeführt, hielten sich die Besucher des Tempios – beziehungsweise die Speisenden – direkt auf dem beheizten Fußboden (*suspensura*) auf. Sie befanden sich daher einerseits im Bereich der dort abgegebenen Strahlungswärme und andererseits in dem der aufsteigenden warmen Luft – also in einer Wohlfühlzone. Die Heizung konnte natürlich nicht den gesamten Bau erwärmen, die Wärme verlor sich im Raum und durch die Fensteröffnungen der Lichtgaden, aber vorher hatte sie ihre Aufgabe erfüllt, den Benutzern Behaglichkeit zu liefern. Außerdem bremste die aufsteigende warme Luft die durch die Fensteröffnungen der Lichtgaden eindringende nunmehr jahreszeitlich bedingte kühle Luft. Trotzdem muss man wohl davon ausgehen, dass kalte Luft zumindest im nördlichen Bereich der Wasserspiele nach unten sank und dann in den beheizten Bereich einströmte.

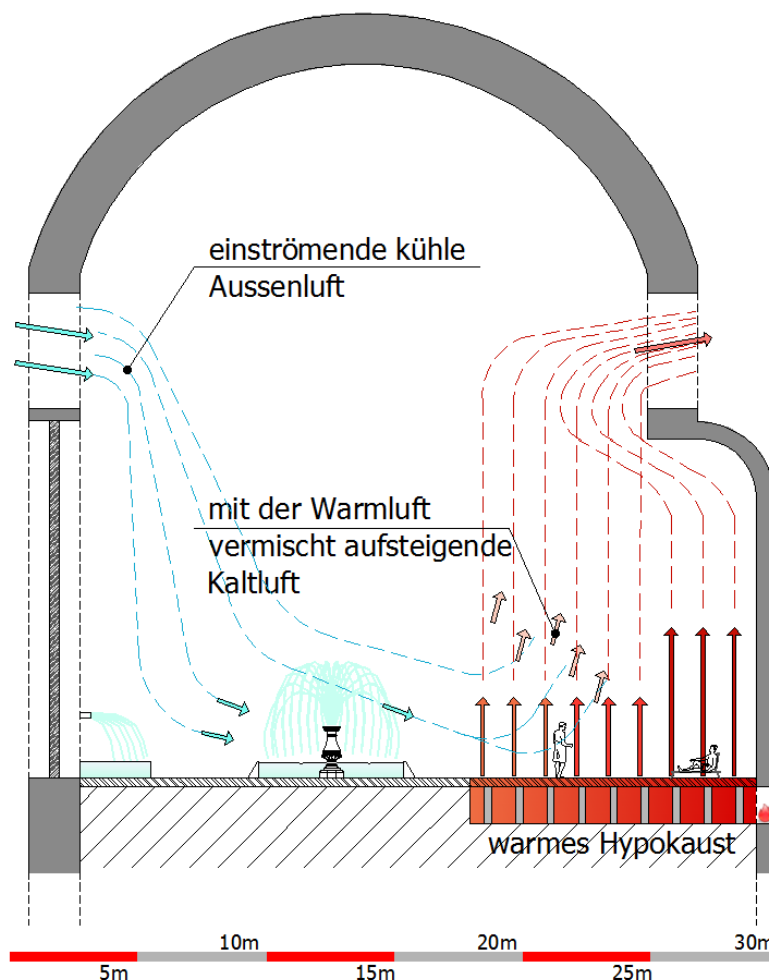


Abb. 32: Rom, Tempio di Minerva Medica; vereinfachte schematische Darstellung: Verlauf der Luftströmungen während der beheizten Betriebsphase; die aufsteigende Wärme lenkt die einströmende kühle Luft nach oben ab.

Eine ca. 1 bis 1,5 m hohe Balustrade auf der Trennmauer zwischen Hypokaust und Erdreich hätte diesen Luftstrom im Fußbereich ablenken oder zumindest bremsen können. Sie ist aber aktuell nicht nachweisbar.

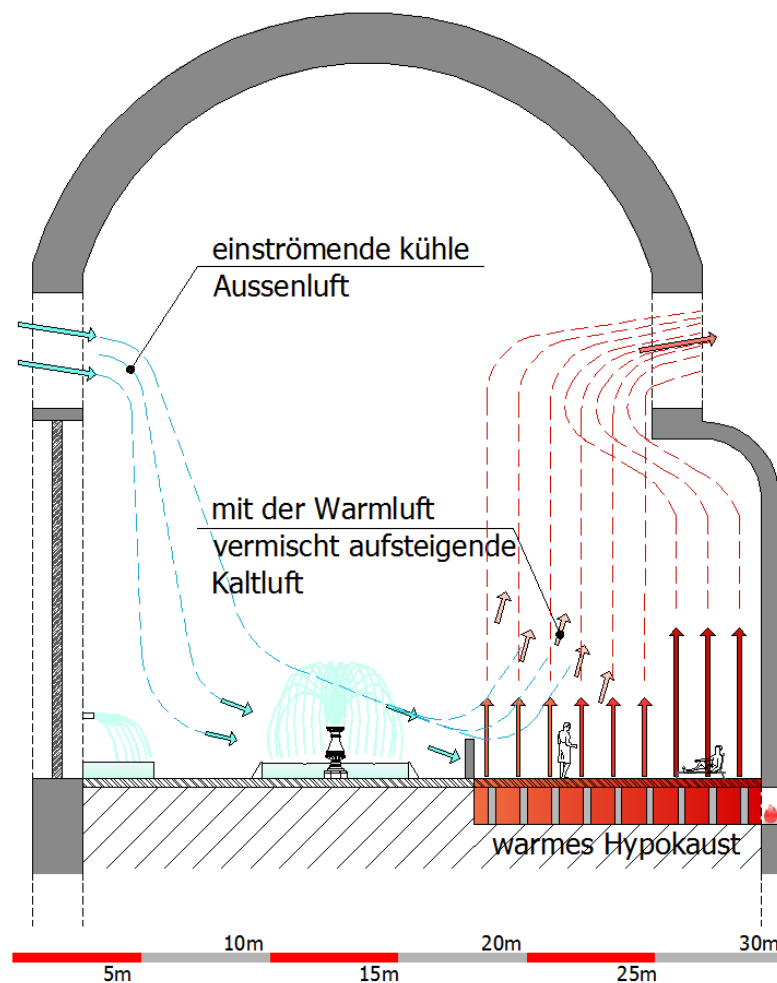


Abb. 33: Rom, Tempio di Minerva Medica; vereinfachte schematische Darstellung: Verlauf der Luftströmungen während der beheizten Betriebsphase bei Vorhandensein einer Balustrade.

Um wirksam zu sein, musste die Heizung in den kühleren Zeiten allerdings ständig in Betrieb sein, denn eine Hypokaustheizung (wie auch eine moderne FBH) kann man nicht ein- und ausschalten wie die meisten anderen modernen Heizungen, sie braucht längere Zeit, bis sie „in Schwung kommt“ und sollte dann längere Zeit kontinuierlich betrieben werden⁵⁵.

Im Winter selbst wird sie vermutlich, wie das ganze Gebäude, nicht in Betrieb gewesen sein.

Wie sah die Heizanlage aus?

Dem Erbauer war offenbar bewusst, dass für diese Anlage eine hohe Heizleistung erforderlich war. Sie bestand daher aus drei, in diesem Fall nicht voneinander getrennten, Abteilungen, mit

⁵⁵ Lehar 2012, 135-164.

je einem *praefurnium*⁵⁶ samt den dazugehörigen Abzügen, mit einer Gesamtheizfläche von ca. 120 m² (Abb. 34):

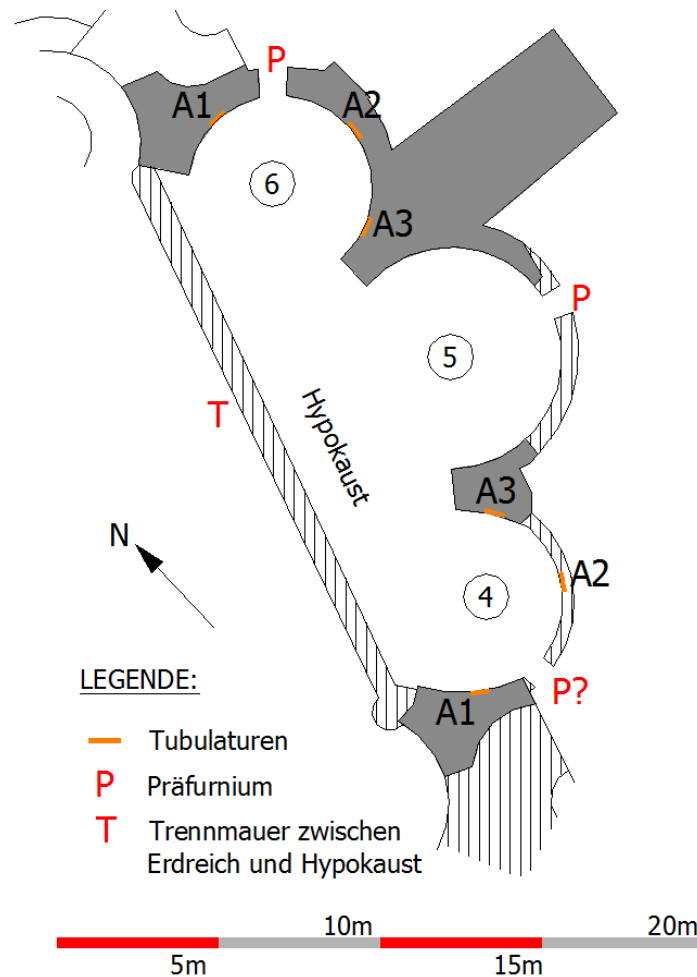


Abb. 34: Rom, Tempio di Minerva Medica; ergänzter Grundriss der drei beheizten Apsiden im Endausbau; in Apsis 4 wurde eine gespiegelte Anordnung der Apsis 6 angenommen, was logisch wäre und aus den erhaltenen Mauern und einer Grabungsskizze von Teichmann erschlossen werden kann (Anm. 57).

Interessant ist, dass das *praefurnium* in Apsis 5 genau im Scheitel der Außenwand der Apsis angeordnet ist, während es in Nische 6 und vermutlich auch in 4⁵⁷ aus dem Scheitelpunkt in Richtung unbeheizter Gebäudeteil gerückt ist. Auch sind die drei Abzüge (zumindest in 6 klar ersichtlich) so aufgeteilt, dass nur einer sich im Bereich zum unbeheizten Gebäudeteil befindet (A1), während die beiden anderen im Bereich näher der beheizten mittigen Apsis 5 liegen (A2 u. A3). Ihr Schwerpunkt lag also nahe der mittleren Apsis 5.

⁵⁶ Biasci 2003, 148f.

⁵⁷ analog zu Nische 6 und aus Deichmann 1942, Handskizze 7 erschließbar.
Biasci 2003, 154.
Barbera et al. 2007, 15 Abb.26-28.

Daraus könnte man schließen, dass der Baumeister einerseits die Apsis erwärmen (mit Hilfe von A1, Abb. 41), und andererseits die warmen Rauchgase (Heizgase) so weit wie möglich vom Außenbereich hin zum Mittelteil des beheizten Bereichs konzentrieren wollte (mit Hilfe von A2 u. A3, Abb. 41). Eine sinnvolle Überlegung, noch dazu, wenn man bedenkt, dass sich die Abzüge alle auf der gleichen Seite der Apsiden wie die *praefurnien* befinden. Dort, wo sie eigentlich sinnvoll hingehören – nämlich gegenüber den *praefurnien* (vgl. dazu die Ausführungen zu Gebäude L1 in der Villa des Maxentius), also dort, wo der beheizte in den unbeheizten Teil übergeht, konnten sie nicht angeordnet werden, es gab keine Mauer, die sie aufnehmen konnte. Eine sehr ungewöhnliche Lösung, aber sie könnte den Erwartungen gemäß funktioniert haben. Allerdings offenbar nicht von Anfang an.

Obwohl die Heizung – wie oben ausgeführt – von Anfang an eingeplant war, scheint sie erst nach einigen Umbauten zufriedenstellend gearbeitet zu haben. Im Endausbau sah sie dann wahrscheinlich so aus:

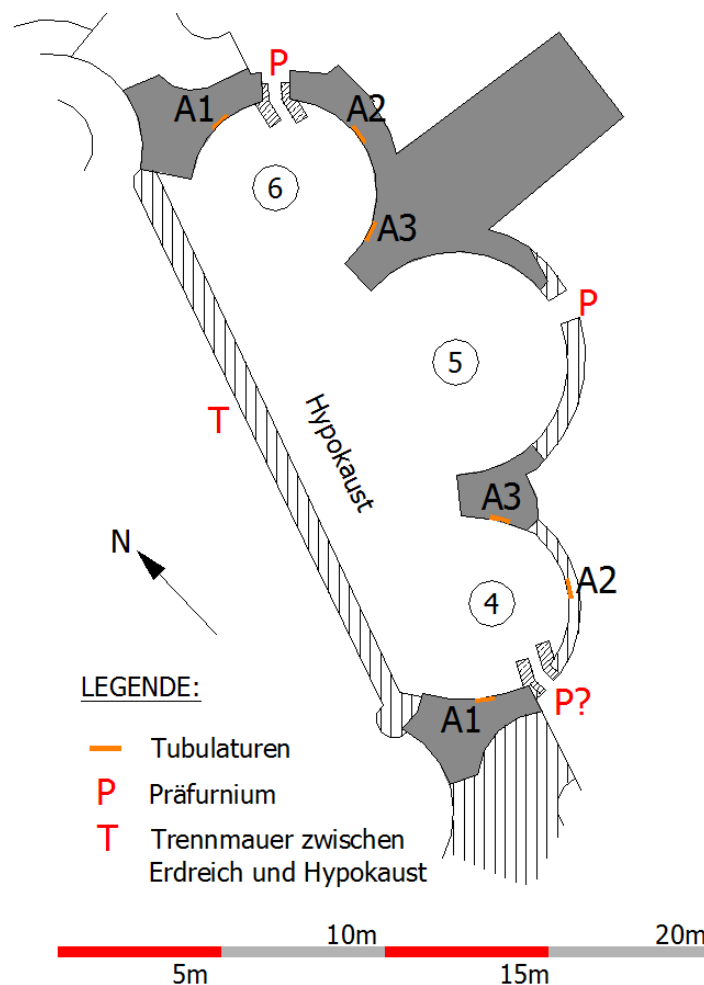


Abb. 35: Rom, Tempio di Minerva Medica; wahrscheinlicher Grundriss des beheizten Teils nach den notwendigen Veränderungen.

Was wurde verändert und warum? Da nur mehr die Heizung in Nische 6 zugänglich ist (4 u. 5 wurden nach der Ausgrabung wieder zugeschüttet, nur einige Handskizzen von F. W. Deichmann und Grabungspläne in Barbera 2007 sind verfügbar), werden die Umbauten anhand dieser Apsis beschrieben und erläutert. In 4 werden sie wahrscheinlich analog, in 5 ähnlich erfolgt sein.

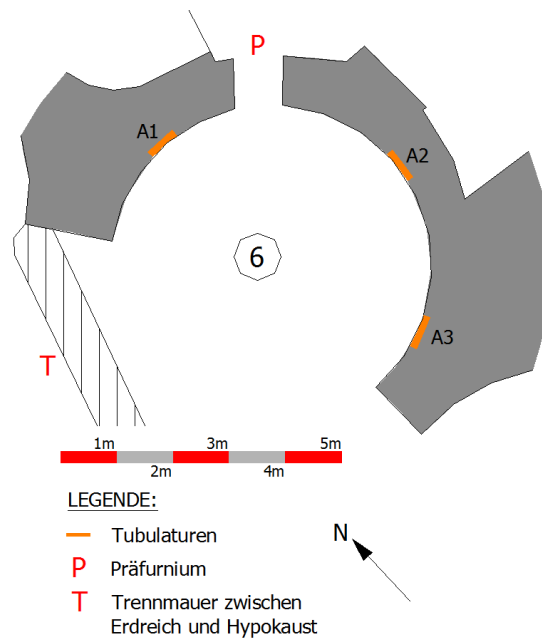


Abb. 36: Rom, Tempio di Minerva Medica; Apsis 6 vor den Umbauten (Grundriss).

Die ersten Umbauten betrafen (wie bei L1 in der Villa des Maxentius) die *praefurnien*:

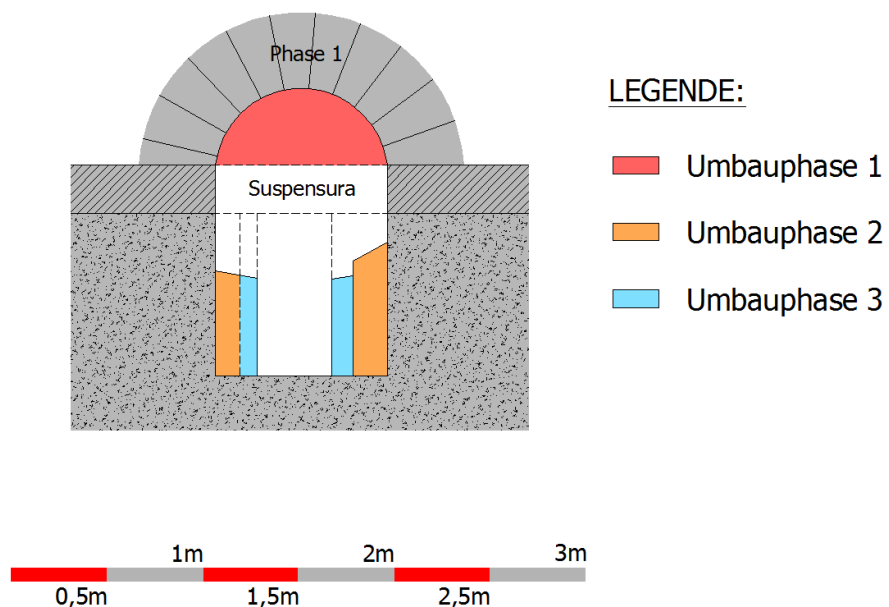


Abb. 37: Rom, Tempio di Minerva Medica; Ansicht des *praefurniums* in Apsis 6 mit eingezeichneten Umbauphasen.

Als erstes wurde der Teil des *praefurniums* (Phase 1), der höher als die *suspensura* lag, zugemauert (Umbauphase 1). In diesem Fall ist es allerdings wahrscheinlich, dass der Bogen aus statischen Gründen über die *suspensura* hinausragte und sein Verschließen ohnedies geplant war. Dies kam öfter vor; eine ähnliche Lösung kann man in der Aula Palatina in Trier, die ca. aus der gleichen Zeit stammt, sehen. Dann traten offenbar die bereits bei Gebäude L1 der Villa des Maxentius beschriebenen Probleme mit zu viel einströmender Kaltluft und dadurch zu wenig warmen Rauchgasen auf. Diese Fehler wurden durch Verengung des *praefurniums* in Umbauphase 2 und, weil das anscheinend nicht genügte, in der Umbauphase 3 beseitigt (Abb. 37). Die Temperatur der Rauchgase dürfte jetzt ausreichend gewesen sein. Trotzdem war das Ergebnis anscheinend noch nicht zufriedenstellend, die warmen Rauchgase zogen auf schnellstem Weg zu den Abzügen A1 und A2 (hauptsächlich zum nächstgelegenen A1), A3 erreichten sie gar nicht, die *suspensura* wurde nur in diesem kleinen Bereich – dafür aber wahrscheinlich viel zu stark - erwärmt:

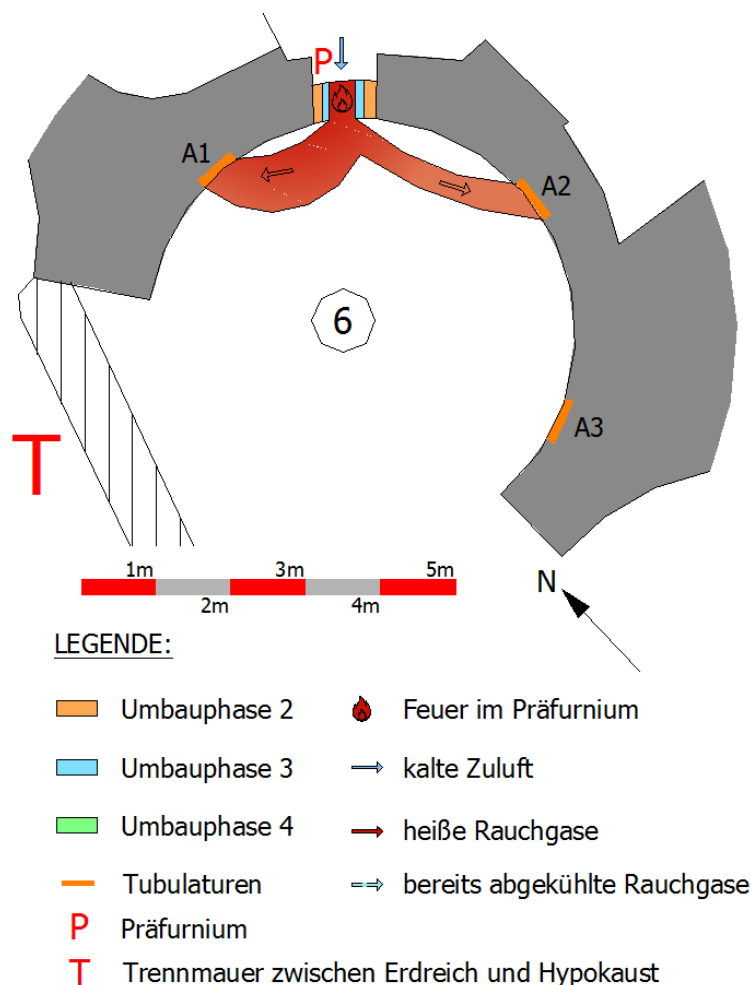


Abb. 38: Rom, Tempio di Minerva Medica; verengtes *praefurnium* und vereinfacht schematisch dargestellter Verlauf der warmen Rauchgase (Grundriss).

Aus diesem Grund wurden – wie schon bei den bisher besprochenen Objekten – auch hier nachträglich Zungenmauern eingebaut. Allerdings fällt eine ungewöhnliche Abweichung vom üblichen Schema auf: Die Zungenmauern in Apsis 6 verlängern das *praefurnium* nicht gerade ins Hypokaust hinein, sondern weisen in einem Winkel von 60° in Richtung der zentralen Apsis 5 (Abb. 39 u. 40):

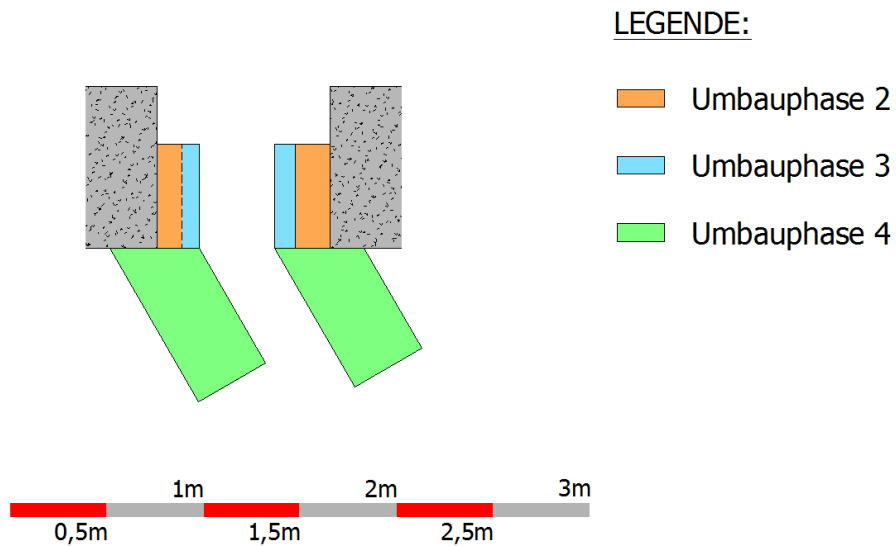


Abb. 39: Rom, Tempio di Minerva Medica; *praefurnium* in Apsis 6 nach dem letzten Umbau – nachträglich eingebaute abgewinkelte Zungenmauern (Draufsicht).



Abb. 40: Rom, Tempio di Minerva Medica; so sieht das *praefurnium* heute aus; die Umbauphasen sind gut erkennbar.

Dadurch leiten sie die warmen Rauchgase in Richtung Apsis 5. Es kann angenommen werden, dass das *praefurnium* in Apsis 4 gegengleich gebaut war und seine Rauchgase ebenfalls in Richtung 5 umlenkte. Warum diese Lösung? Zunächst erreichte man damit eine Strömung, die in einem Bogen weiter weg von der Außenwand verlief und dadurch eine größere Bodenfläche erwärmt wurde. Außerdem wurde damit versucht, möglichst viel Wärme in Richtung Apsis 5 zu lenken, wo sich wahrscheinlich der Aufenthaltsbereich der ranghöheren Personen (Hausherr, Kaiser, wichtiger Gast) befand. Das allein genügte aber sicher nicht, denn – wie eingangs erwähnt – nimmt der Rauch (= die Energie) immer den leichtesten Weg und das ist in der Regel der kürzeste. In diesem Fall zu A1 und, bedingt durch die Zungenmauern, jetzt auch vermehrt zu A2. A3 wäre weiterhin nicht erreicht worden. Um das zu ändern, mussten A1 und A2 so stark gedrosselt werden, dass der daraus folgende hohe Widerstand den Großteil der warmen Gase zwang, zu A3 zu strömen und dort das Hypokaust zu verlassen. Eine Drosselung von A1 und A2 konnte am einfachsten durch das Verschließen mehrerer ihrer Tubulusstränge erfolgen. Als Nebeneffekt sank am Weg dorthin die Geschwindigkeit der Gase und deren Verteilung wurde besser⁵⁸ (Abb. 41).

Das Hypokaust wurde jetzt zwar besser, aber nicht optimal, durchströmt. Die Abzüge befinden sich – bedingt durch Form und Gestaltung des Bauwerks – nun einmal nicht dort, wo sie eigentlich hingehören. Die Wärmeleitfähigkeit der *suspensura* hat sicher zu einer etwas großflächigeren Wärmeverteilung geführt, im Übergangsbereich zum unbeheizten Teil des Tempios wird der Boden aber trotzdem eher kühl geblieben sein.

⁵⁸ Lehar 2012, 319-325.

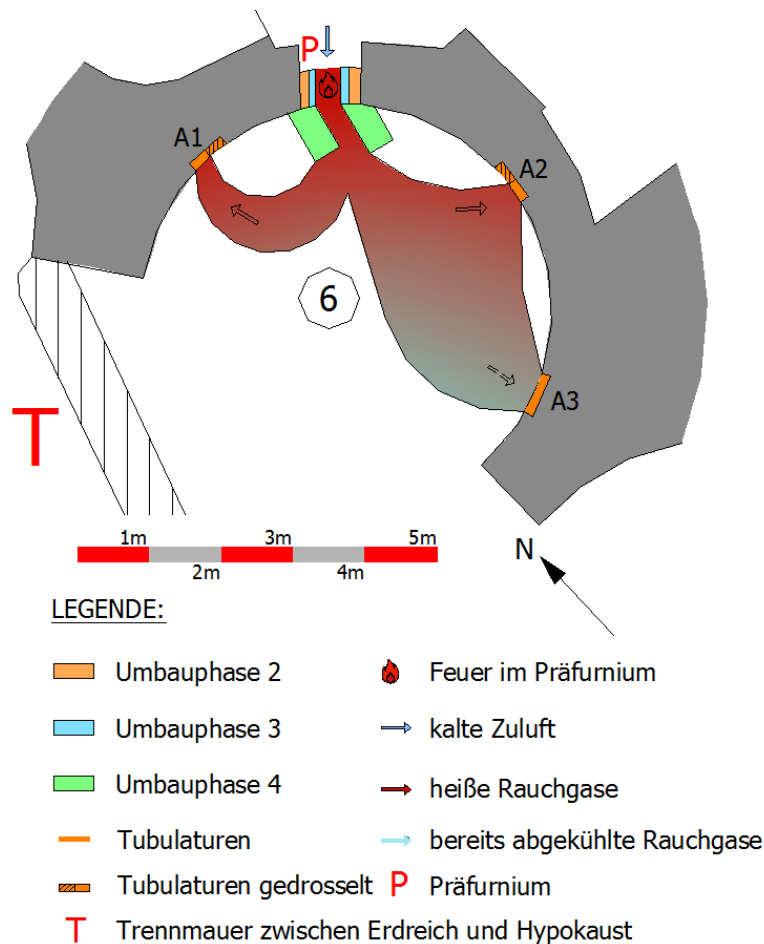


Abb. 41: Rom, Tempio di Minerva Medica; schematisch dargestellter Verlauf der warmen Rauchgase nach Einbau der Zungenmauern und Drosselung der Abzüge A1 und A2 (Grundriss).

Es hätte noch effektivere Gestaltungsmöglichkeiten für den von den Zungenmauern gebildeten Feuerungskanal gegeben, aber diese im Norden des Reichs gelegentlich vorkommenden Varianten waren in Rom anscheinend damals nicht bekannt. Als Beispiele wären zu nennen: der in mehrere Äste verzweigte Feuerungskanal in der Villa von Basse-Vavre (B)⁵⁹, oder ein lang gezogener Feuerungskanal in den Barbara-Thermen in Trier (D)⁶⁰.

Die Abzüge – mit sehr geringen Resten von *tubuli* darin⁶¹ – sind auch noch in anderer Hinsicht interessant, um nicht zu sagen merkwürdig. Sie liegen eingetieft an der Innenseite der Außenwand und waren ca. 4,3 m hoch. Diese Höhe entspricht durchaus den Erfordernissen

⁵⁹ De Maeyer 1937, 125.

Lehar 2012, 44f.

⁶⁰ Fusch 1910, 52-55.

Lehar 2012, 132.

⁶¹ eigene Anschauung des Autors 2016.

persönliche Mitteilung S. Barrano, Leiter der letzten Grabung und der aktuellen Restaurierungsarbeiten im Tempio di Minerva Medica anlässlich der Begehung des Bauwerks 2016.

einer Hypokaustheizung⁶². Normalerweise würde man erwarten, dass sie an ihrem oberen Ende durch die Mauer nach außen geführt wurden, wie allgemein üblich, und es im Fall der Aula Palatina in Trier noch heute sichtbar ist⁶³. Es sind aber keinerlei Spuren eines Durchbruchs für eine Ableitung der Rauchgase nach außen erkennbar. Nur im Bereich von A 2 kann man an der Außenseite des Gebäudes eine kleine Öffnung⁶⁴ erkennen, die wohl zu klein gewesen wäre und bei der auch keine Verbindung nach innen feststellbar ist.

Es gibt jetzt zwei Möglichkeiten:

1.) Es gab Durchbrüche nach außen, die aber im Zuge der zahlreichen, massiven Renovierungen des Bauwerks (auch in diesen Bereichen) verschlossen und daher heute nicht mehr erkennbar sind (Abb. 42), oder – wie z.B. in Apsis 4 – fehlt genau in diesem Bereich der Abzüge die Mauer (Abb. 43). In diesem Fall wären die Abzüge nicht ungewöhnlich oder rätselhaft. Es hätte sich um eine ganz normale Abzugssituation gehandelt. Dagegen spricht allerdings, dass z.B. der östlichste Abzug in Apsis 6 (A1) und der westlichste in Apsis 4 durch dicke Stützmauern hätte geführt werden müssen, um die Rauchgase ins Freie ableiten zu können (Abb.34), was zwar möglich ist, aber doch Spuren im Mauerwerk hinterlassen müsste.



Abb. 42: Rom, Tempio di Minerva Medica; renovierte / restaurierte Stellen am oberen Ende eines Abzugs (A1) in Apsis 6.

⁶² Kretzschmer 1953, 29.
Lehar 2012, 170-176.

⁶³ Lehar 2012, 99f, Abb.113-115.

⁶⁴ eigene Anschauung des Autors 2016.

persönliche Mitteilung S. Barrano, Leiter der letzten Grabung und der aktuellen Restaurierungsarbeiten im Tempio di Minerva Medica anlässlich der Begehung des Bauwerks 2016.



Abb. 43: Rom, Tempio di Minerva Medica; fehlender Teil der Mauer im oberen Bereich des Abzugs in Apsis 4.

2.) Es gab tatsächlich keine Durchbrüche nach außen; aber was geschah dann mit den Rauchgasen? Es ist denkbar, dass die Abzüge im Inneren des Gebäudes endeten, und die Rauchgase dorthin strömten. Das wäre zweifellos ungewöhnlich, und man müsste normalerweise mit einer Belastung der Luft im Gebäudeinneren mit Rauch (Ruß, Feinstaub, CO und CO₂) rechnen – alles mehr oder weniger giftige Stoffe. Es könnte in diesem speziellen Fall aber funktioniert haben. Erstens liegt das obere Ende der Abzüge (und damit der Rauchaustritt) ca. 2,5 m über den Köpfen der Benutzer. Zweitens sind die Rauchgase im Abzug noch warm und hätten daher die Tendenz, im Gebäude zu dem kälteren Bereich der Lichtgaden mit (zumindest teilweise offenen) Fensteröffnungen aufzusteigen und es durch diese zu verlassen. Drittens wäre diese Tendenz nach oben durch die aus dem beheizten Bereich ebenfalls aufsteigende Wärme verstärkt worden – sie hätte die Rauchgase gleichsam mitgenommen (Abb. 44). Zusätzlich hätte der Anteil an Schadstoffen (vor allem CO₂ und Feinstaub) im Rauchgas durch die Verwendung von Holzkohle als Brennstoff reduziert werden können⁶⁵.

⁶⁵ Lehar 2012, 147, 160

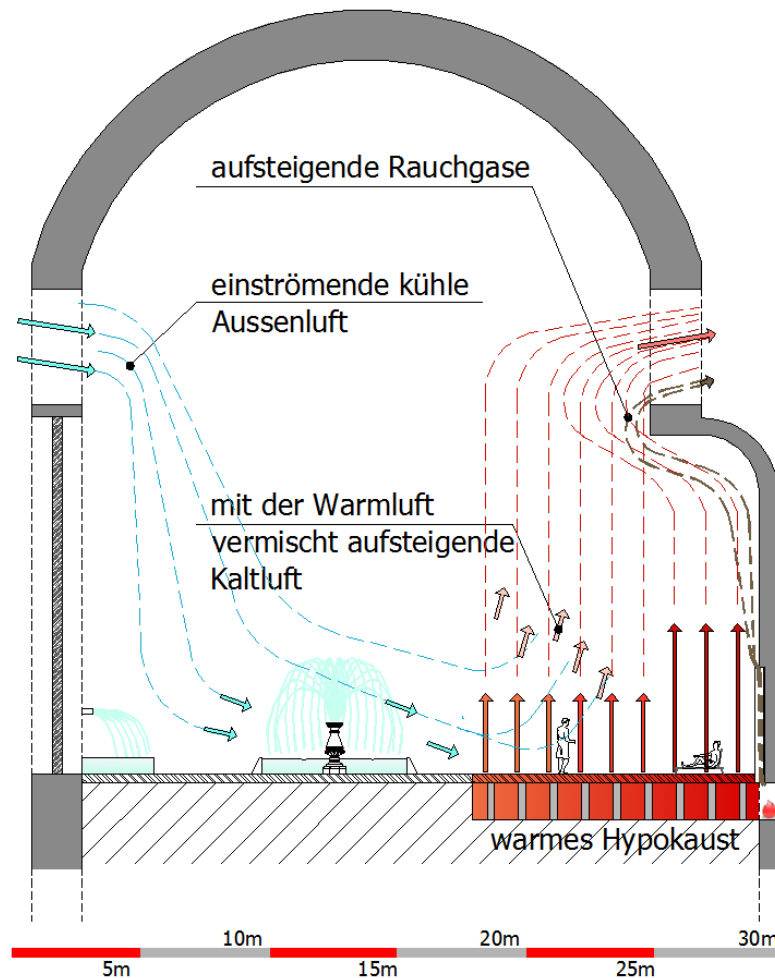


Abb. 44: Rom, Tempio di Minerva Medica; vereinfachte schematische Darstellung: die aufsteigende Wärme verstärkt den Auftrieb der Rauchgase und führt sie nach außen ab.

Völlig befriedigend ist diese Lösung nicht. Das umso mehr, als eine Ableitung mittels Durchbrüchen nach außen problemlos möglich gewesen wäre. Vielleicht helfen Untersuchungen der Bauforscher in den Endbereichen der Abzüge weiter, die dabei doch noch Hinweise auf Durchbrüche finden.

Auch wenn aus heutiger Sicht diese Lösung höchst ungewöhnlich und nicht optimal gewesen wäre, erscheint es dennoch wohl zulässig, anzunehmen, dass die ungewöhnliche Teil-Hypokaustheizung in den Augen der Benutzer des Tempios so zufriedenstellend funktionierte, dass man einige Zeit später beim Bau des vor dem Eingang in das Gebäude liegenden *narthex* eine anscheinend recht ähnliche Heizung eingebaut hat. Leider kann der Verfasser über diese Anlage nicht viel mehr sagen, als dass sie der besprochenen offenbar ähnlich war (nur ca. 1/3 der Bodenfläche des *narthex* war beheizt⁶⁶, und vermutlich war es ebenso wie der Tempio ein

⁶⁶ Barbera et. al. 2007, 6 fig. 6a, 7 fig. 6b.
Biasci 2003, 148 Abb. 5.

nicht völlig geschlossenes Gebäude) und dass es – am Mauerwerk erkennbar – jüngeren Datums ist. Die wenigen vorhandenen Unterlagen reichen für weitergehende Aussagen nicht aus, und die Grabung ist zum größten Teil wieder zugeschüttet.

Auf jeden Fall handelt es sich bei dem Tempio di Minerva Medica um einen singulären und anscheinend auch gelungenen Versuch, ein Gebäude je nach Jahreszeit mit einfachen Mitteln durch Kühlung oder Heizung zu klimatisieren.

Der sogenannte Winterpalast in der Villa Hadriana

(auch Edificio con Pesciera genannt)

Die Bearbeitung erfolgte auf Basis der Dokumentation über die Technik des Edificio con Pesciera di Villa Adriana von B. Adembri und G. E. Cinque⁶⁷, der website „Villa Adriana“ von M. De Franceschini⁶⁸, dem Beitrag von H. Winnefeld über die Villa Hadriana⁶⁹, den Resultaten der Georadarmessungen durch G. E. Cinque⁷⁰ sowie ausführlicher Untersuchungen und Vermessungen vor Ort mit fachkundiger Unterstützung durch H. Manderscheid und zwei Innsbrucker Mitarbeiter. Ergänzend kommen noch die Erkenntnisse dazu, die nach der Reinigung wichtiger Bereiche des Bauwerks durch Speläologen unter der Leitung von H. Manderscheid gewonnen werden konnten.

In der Villa Hadriana wurde im Lauf der Jahrhunderte immer wieder gegraben, doch ist heute anscheinend davon nichts dokumentiert; dazu ein Zitat nach M. De Franceschini:

„At Villa Hadriana never was carried out a stratigraphical scientific excavation, most of them were simply treasure hunting. In recent times there have been only small explorations and cleanings. Nothing is known about the finds, there is no information about the last phases of its life and decay, even if there are signs of late antique alterations. We do not know the exact finding-spot of the greater part of its sculptures and mosaics; other finds have been lost, and there is an enormous research to do just in studying and tracing back the statues.“⁷¹

Dazu kommt noch, dass im letzten Jahrhundert auch im Bereich des Winterpalastes umfangreiche Rekonstruktionen durchgeführt wurden und nicht immer klar ist, was von dem heute sichtbaren Mauerwerk original oder neu ist, beziehungsweise inwieweit die Rekonstruktionen den Originalzustand wiedergeben. So berichtet H. Winnefeld, dass der von ihm als Mittelsaal bezeichnete Raum (hier Raum 2 genannt⁷²) „...durch den Einsturz der Substructionen fast ganz zerstört [sei]....“⁷³. Ebenso waren der Raum 5 und die diesem im Süden vorgelagerten Räume „...so zerstört und verschüttet, dass kaum noch der äußere

⁶⁷ Adembri, Cinque 2010.

⁶⁸ De Franceschini, 2010.

⁶⁹ Winnefeld, 1895.

⁷⁰ Cinque 2004.

⁷¹ De Franceschini 2010, 2.

⁷² vergl. Abb. 45.

⁷³ Winnefeld 1895, 127.

Umriss.....festzustellen ist“⁷⁴. Abb. 265 aus Gusman⁷⁵ zeigt den Zustand des Gebäudes im Jahr 1904:



Abb. 45: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; Ansicht 1904⁷⁶: der gesamte vordere Teil des Bauwerks ist weitgehend eingestürzt; im linken Bereich scheint der Bedienungsgang zumindest bis in den Bereich des Schachts S1 (siehe Abb. 49) zu fehlen.

Wenn wir damit den aktuellen Bauzustand vergleichen, so scheint zumindest der vordere Bereich von Raum 2 (siehe Abb. 49) samt dessen Substruktionen großteils neu aufgebaut worden zu sein, beziehungsweise wurden herabgestürzte Gewölbeteile (im Bild links zu sehen) wieder in das Gebäude eingefügt. Das ist im Bereich der vorderen Schächte (S1 und S3 siehe Abb. 49) am dort sichtbar „zusammengeflickten“ unterschiedlichen Mauerwerk zu erkennen (Abb. 46 u. 47):

⁷⁴ Winnefeld 1895, 128.

⁷⁵ Gusman 1914, Abb. 265.

⁷⁶ vergl. auch De Franceschini 1991, II, 516 (Abb.).



Abb. 46: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; drei unterschiedliche Mauertypen im eingebrochenen Bereich von S1 (siehe Abb. 49).

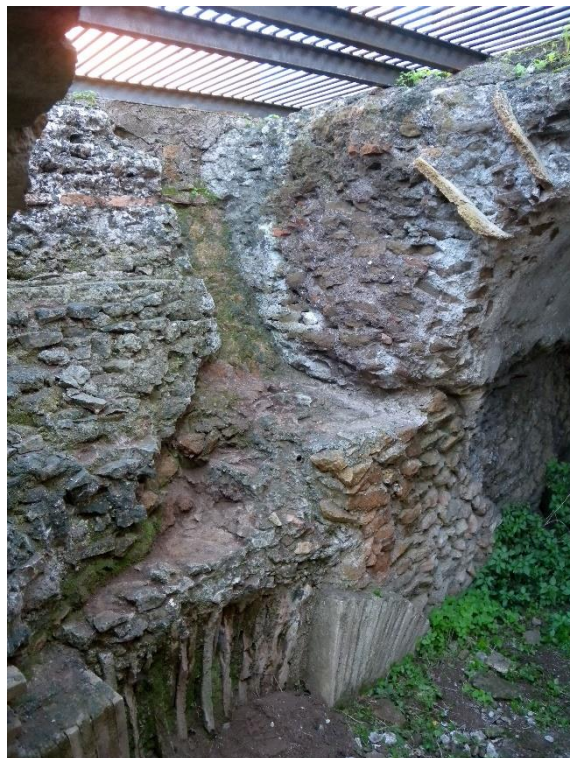


Abb. 47: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; sieben unterschiedliche Mauertypen im eingebrochenen Bereich von S3 (siehe Abb. 49).

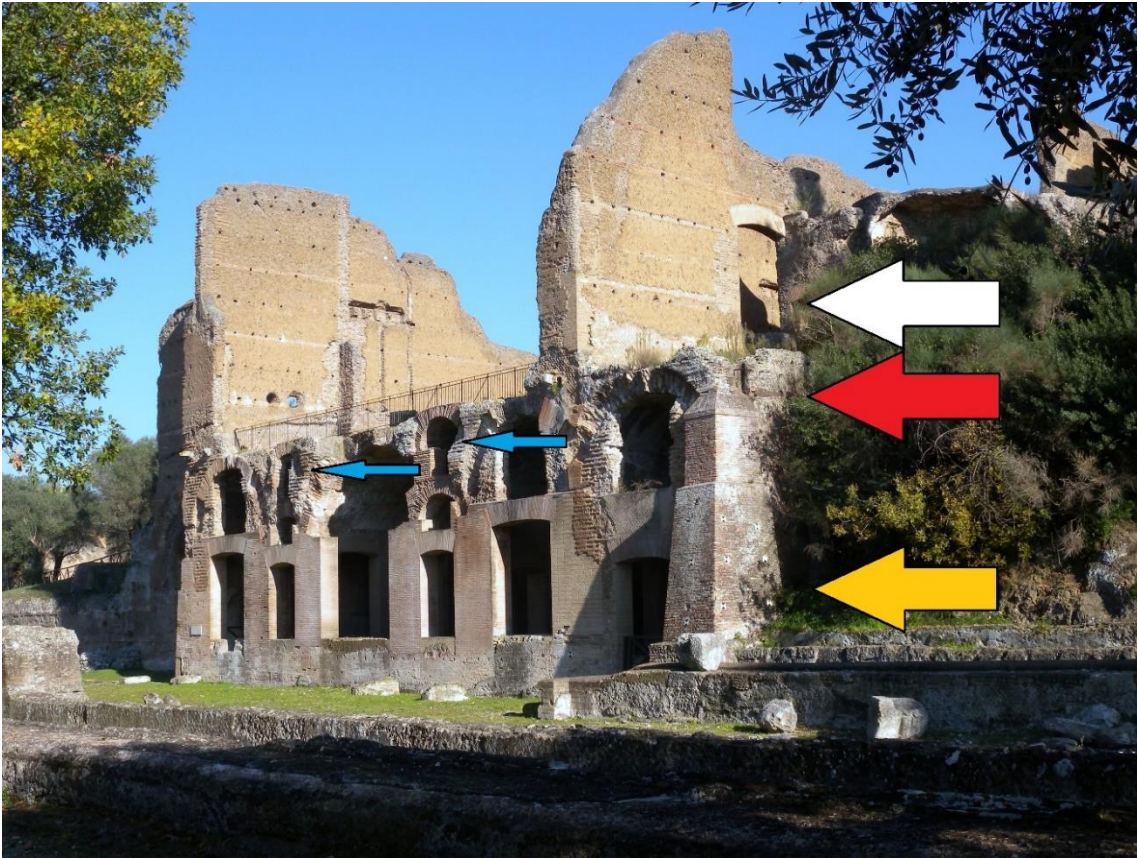


Abb. 48: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; so sieht die Südfront heute aus:

weißer Pfeil – Obergeschoß mit „Hypokaust“

roter Pfeil – Zwischengeschoß mit „Bedienungsgängen“ (blaue Pfeile) und Substruktionen

gelber Pfeil – Erdgeschoß mit Aufenthaltsräumen bzw. Substruktionen.

Trotzdem hat der Verfasser versucht, auf Basis verschiedener Pläne, Beschreibungen⁷⁷, eigener Messungen und Fotos für die archäologisch– heizungstechnische Betrachtung vereinfachte Grundrisse des obersten Geschoßes, der sog. „Bedienungsgänge“ sowie anderer relevanter Einzelheiten zu erstellen:

⁷⁷ Adembri, Cinque 2010, 50, 54.
De Franceschini, 2010, Plate 15.
Cinque 2004.
Winnefeld, 1895, Tafel XI.

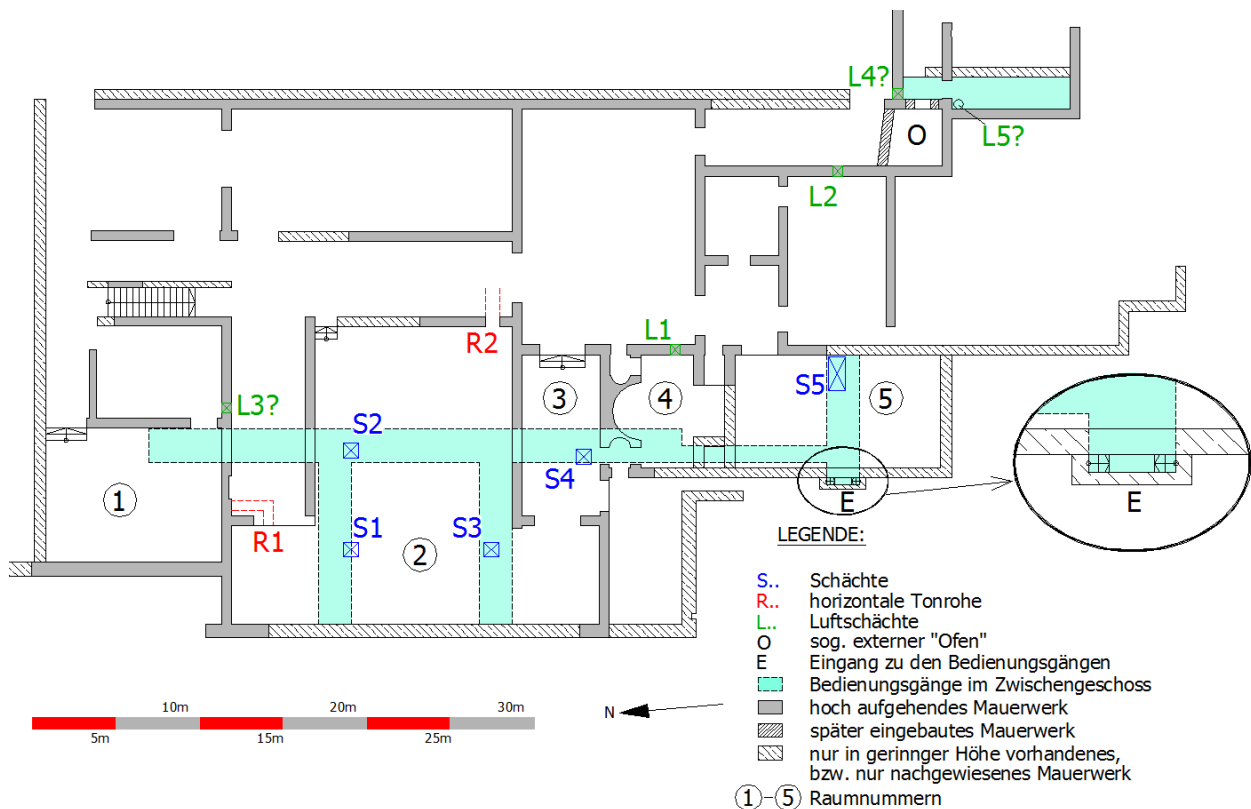


Abb. 49: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; Grundriss des obersten Geschosses und der darunter liegenden Bedienungsgänge (erweiterte Umzeichnung nach Grundriss von B. Adembri und G.E. Cinque 2010, 54 Abb. 15); die Raumnummern wurden vom Verfasser nur für diesen Beitrag frei angenommen. Die Lage der Schächte S1-S4 ist auf Grund der Einbrüche der Decke nicht mehr zu 100% feststellbar, sie wurde aus den vorliegenden Beschreibungen und Plänen übernommen. Nach Augenschein ist der Autor allerdings überzeugt, dass sie ziemlich genau im Scheitelpunkt der gewölbten Gänge lagen.

In den Räumen 1-5 wird heute allgemein ein aufgeständerter Boden (Hypokaust) angenommen, der es ermöglichen sollte, einerseits als Hypokaustheizung zu fungieren⁷⁸, und andererseits mit Hilfe einer Durchlüftung den Boden der Räume von unten abzukühlen und dadurch eine Kühlung des darüber liegenden Raums zu erreichen⁷⁹. Dies wäre eine in der Antike wohl einzigartige Anlage gewesen.

Diese angedachte interessante Heiz- Kühlanlage zu untersuchen, sollte ein wichtiger Teil dieses Forschungsprojekts sein. Dementsprechend viel Zeit wurde zu ihrer Bearbeitung aufgewendet. Für beide Anwendungen der Anlage hätte der aufgeständerte Boden dienen sollen. Auf Grund der umfangreichen Restaurierungen (Veränderungen?) des Gebäudes sind zwar nicht einmal mehr Spuren von Hypokaustpfeilern erkennbar – schon Winnefeld hat offenbar bereits 1895

⁷⁸ Adembri, Cinque 2010, 48-51.

De Franceschini, 2010, 10, Plate 14.

⁷⁹ Adembri, Cinque 2010, 51-54.

keine mehr gesehen⁸⁰ – aber ein kleiner Rest der *suspensura* (ca. 30 cm dick) in Raum 4 und der Wechsel im Mauerwerk auf Höhe der *suspensura* von mit Hochtemperatur gebrannten Ziegeln zu *opus reticulatum* bzw. schwächer gebrannte Ziegeln⁸¹ in allen als beheizt angenommenen Räumen lassen die Existenz einer derartigen Konstruktion annehmen (Höhe des Hypokausts ca. 75 cm).



Abb. 50: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; kleiner Rest der *suspensura* in der Ecke von Raum 4 und der deutlich erkennbare Wechsel des Mauerwerks im Übergangsbereich vom Hypokaust zum Raum.

Betrachten wir zunächst

die mögliche Verwendung als Hypokaustheizung:

Eine Hypokaustheizung besteht im Wesentlichen aus drei Bauteilen: dem Hypokaust (aufgeständerter Boden), dem *praefurnium* und den Abzügen (Tubulussträngen) (vergl. Abb. 1).

⁸⁰ Winnefeld 1895, 129.

⁸¹ vergl. Winnefeld 1895, 129.

Hypokaust:

- Für dessen Vorhandensein in den Räumen 1-5 sprechen die oben angeführten Tatsachen (Rest einer *suspensura* und der Wechsel im Mauerwerk).
- Allgemein ist festzuhalten, dass die vorhandenen Verbindungen zwischen den Räumen im Hypokaustbereich in Relation zu der Größe der Räume viel zu klein sind (ca. 44 x 60 cm), um einen zusammenhängenden Betrieb der Räume (wofür auch immer) zu ermöglichen. Allein wegen dieser Tatsache hätte jeder Raum (abhängig von seiner Größe) mindestens ein eigenes *praefurnium* und eine entsprechende Zahl von Abzügen benötigt.

praefurnien:

Zunächst sei darauf hingewiesen, dass bei der Größe und Höhe der als beheizt angenommenen Räume zumindest ein (Raum 3, 4 u. 5) oder mehrere *praefurnien* (Raum 1 u. 2) beachtlicher Größe notwendig gewesen wären; aber:

- Es gibt kein einziges *praefurnium*. Die vier Durchbrüche durch den Unterboden zu den sog. Bedienungsgängen in Raum 2 und 3, die als solche gedeutet werden (S1-S4), waren sicher keine *praefurnien*. Es sieht so aus, als wären dort senkrechte Verbindungsschächte (wie aus spärlichen Resten geschlossen werden kann, mit einer Öffnung von ca. 90 x 90 cm und einer Höhe von ca. 60 cm) von den Bedienungsgängen zum Hohlraum des aufgeständerten Bodens (Hypokaust) gewesen, deren Umfeld irgendwann durchgebrochen ist⁸², wodurch sie heute größer wirken als sie tatsächlich waren. Die genauen Untersuchungen in diesem Bereich ergaben in den Gängen, wo sie vermutet werden⁸³, nicht den geringsten Hinweis auf Strukturen / Einbauten, die man einem *praefurnium* zuordnen könnte sondern nur wirt durcheinander laufendes unterschiedliches Mauerwerk (Abb. 46 u. 47).
- Eine Beheizung durch offenes Feuer, das auf dem Boden der Bedienungsgänge im Bereich der vorhandenen ursprünglich ca. 90 x 90 cm großen Schächte gebrannt hätte, und dessen warme Rauchgase zunächst im 2 m hohen Gang frei und anschließend durch die engen Schächte in das Hypokaust hinaufgestiegen wären, ist mit Sicherheit zu verneinen. Zum einen, weil in den Bedienungsgängen ständig Zugluft herrscht, die die heißen Rauchgase sofort in den Gängen verteilt, bevor sie – dem thermischen Auftrieb

⁸² persönliche Mitteilung H. J. Beste Dr. Ing., Bauforscher DAI-Rom bei der Besichtigung / Beurteilung der Bausubstanz des Winterpalasts 2016.

⁸³ Adembri, Cinque 2010, 49.
De Franceschini, 2010, Plate 14.

folgend – in das Hypokaust aufsteigen könnten (Abb. 51). Zum anderen, weil bereits das erste Feuer im Gang den Zugang zu den anderen drei versperrt und so deren Bedienung sowie den Nachschub von Brennmaterial unmöglich gemacht hätte (Abb. 52). Nicht zu reden von den Gefahren, die der Rauch des offenen Feuers in den verqualmten Gängen für eine Bedienungsmannschaft bedeutet hätte (CO, CO₂, Ruß).

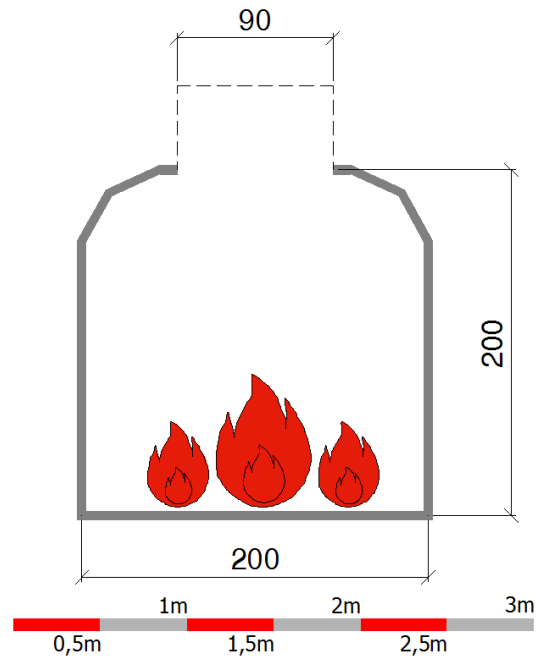


Abb. 51: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; Schnitt durch einen Bedienungsgang im Bereich der Schächte mit einem darin brennenden offenen Feuer dargestellt; ein Passieren dieses Bereichs wäre wegen der Flammen und der entstehenden Hitze unmöglich gewesen.

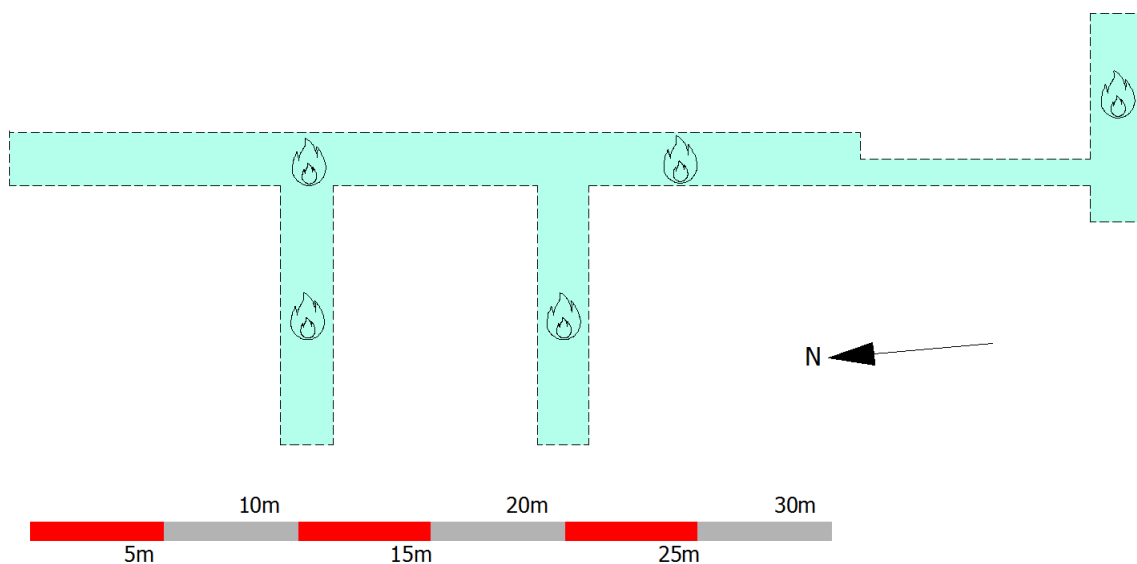


Abb. 52: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; gedachte Position der *prae-furnien* in den Bedienungsgängen: bereits das erste Feuer im N – S Gang versperrt den Zugang zu den anderen drei Feuerstellen.

- Nimmt man an, es seien (allerdings nicht einmal in Spuren nachweisbare) ofenartige Feuerstellen in die Gänge eingebaut gewesen, die die heißen Rauchgase direkt durch die Schächte in das Hypokaust geschickt hätten, so hätten diese in etwa so aussehen müssen:

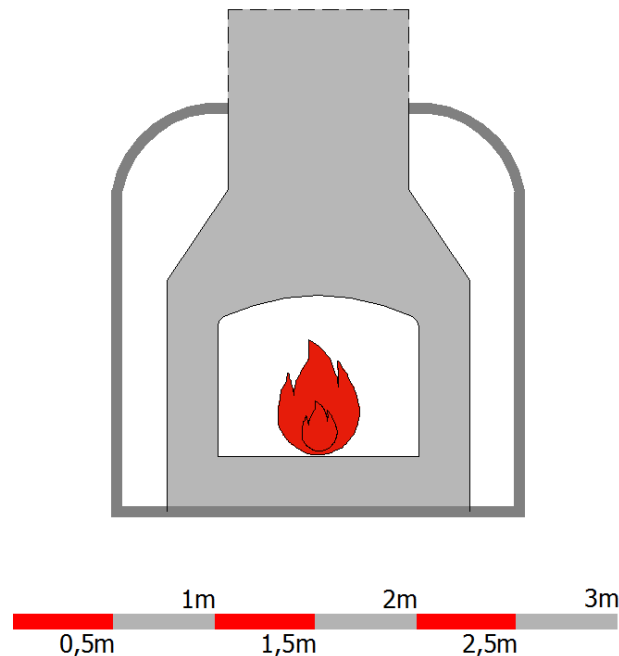


Abb. 53: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; fiktiver Praefurniums-Ofen im Bereich der Bedienungsgänge.

Sie hätten zwar die heißen Rauchgase direkt nach oben in das Hypokaust geleitet, aber auch in diesem Fall hätte der erste Ofen den Zugang zu den anderen versperrt.

- Eine Anordnung von *praefurnien* in seitlichen Nischen, ähnlich der im Edificio con Tre Esedre (Abb. 54), wie von B. Adembri angedacht⁸⁴, ist nach Ansicht des Verfassers auszuschließen, weil die *praefurnien* erhöht, seitlich neben den Bedienungsgängen liegen würden und zu ihrer Erreichbarkeit ein Gewölbe quer zu den Bedienungsgängen bestehen müsste, für das in den Gängen kein Platz und außerdem nicht der geringste Hinweis zu finden ist. Für die Plattformen, von denen das Feuer in den an die Plattformen anschließenden *praefurnien* bedient werden sollte, ist trotz der geringfügigen Vergrößerung dieses Bereichs durch die erwähnten Einbrüche des Hypokaustbodens genauso wenig Platz wie für *praefurnien*. Die durch die Einbrüche

⁸⁴ Adembri, Cinque 2010, 49 Anm. 12; 51 Abb. 7.

aus in den Seitenwänden entstandenen nischenartigen Ausbrüche bei S1 und S3 sind im Grundriss völlig unregelmäßig und haben höchstens eine Tiefe von 57 und 74 cm. Auch sind dort keine Mauerstrukturen erkennbar, die irgendeinen Hinweis auf derartige Plattformen oder gar *praefurnien* liefern (Abb. 46 u. 47). Auch die Schächte, die die heißen Rauchgase von den seitlich der Bedienungsgänge liegenden *praefurnien* nach oben in das Hypokaust leiten sollten, gibt es dort nicht. Die einzigen nachweisbaren Schächte (siehe oben) befinden sich in der Mitte der Bedienungsgänge. Bei S2 und S4 gibt es nicht einmal die nischenartigen Ausbrüche in den Seitenwänden, sondern nur einen Schacht in der Mitte des Bedienungsgangs. Sie kommen daher von vornherein für eine solche Lösung nicht in Betracht

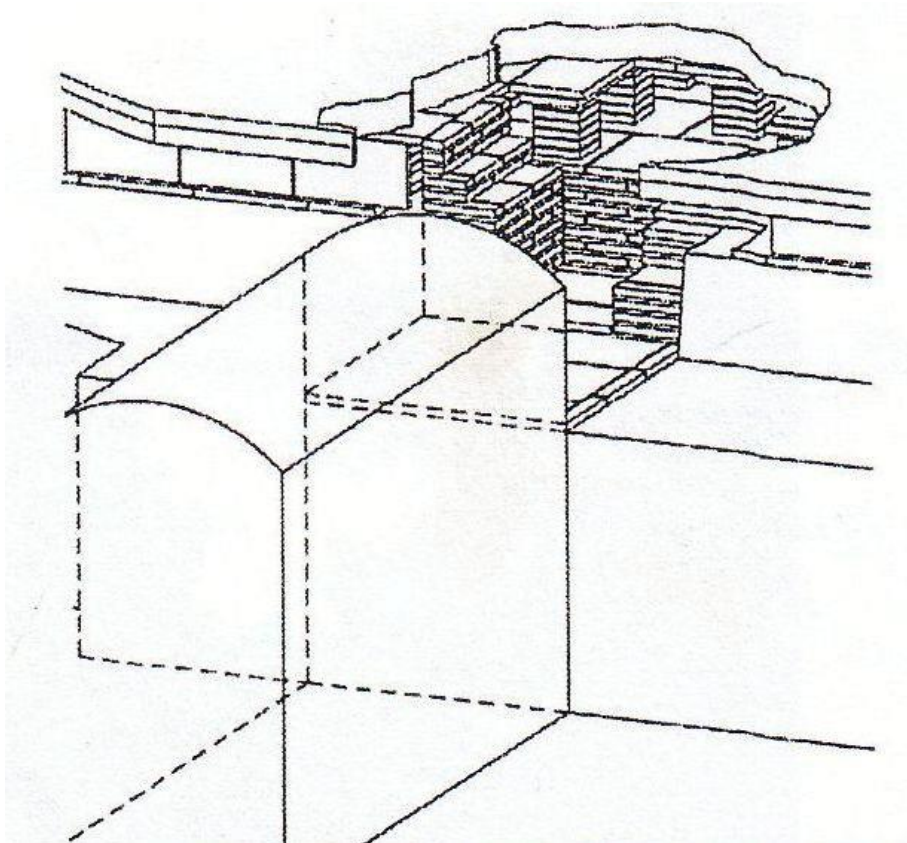


Abb. 54: Tivoli, Villa Hadriana, Edificio con Tre Esedre; zeichnerische Darstellung eines *praefurniums*⁸⁵

- Analog zu den *praefurnien* im Edificio con Tre Esedre hätte der Bereich der *praefurnien* S1 und S3 so aussehen müssen:

⁸⁵ Adembri, Cinque 2010, 51 Abb. 7.

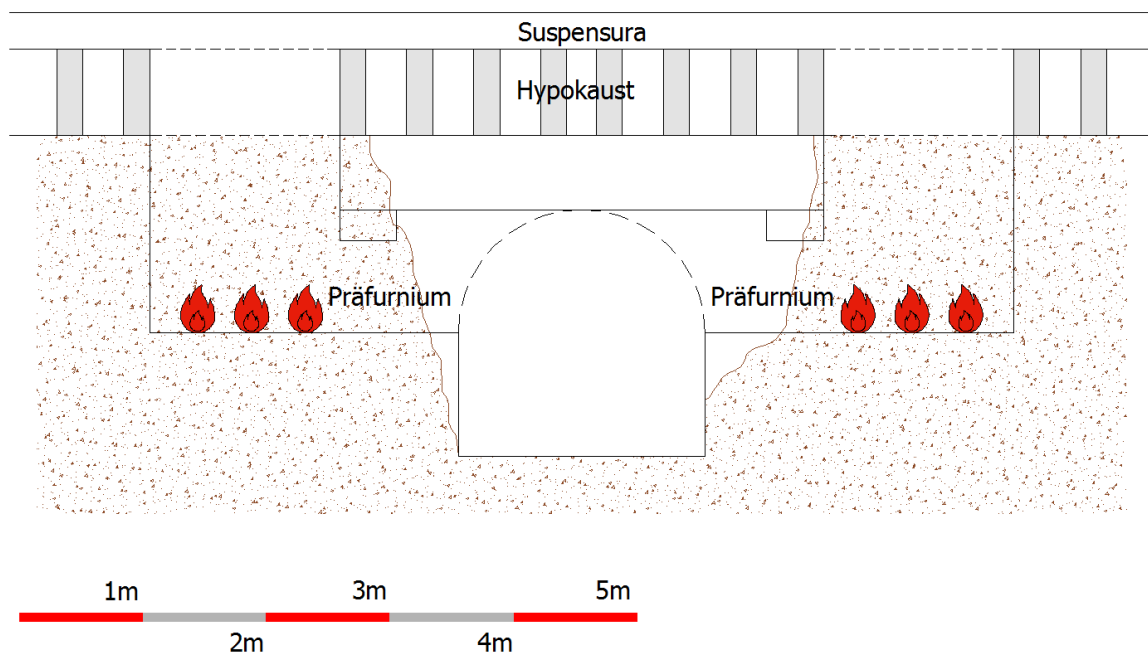


Abb. 55: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; so hätten *praefurnien* seitlich der Bedienungsgänge analog zu jenen im Edificio con Tre Esedre aussehen müssen; in der Zeichnung ist braun unterlegt angedeutet, wie der Verlauf des massiven Mauerwerks im Bereich der nischenförmigen Einbrüche heute ist (S1). *praefurnien* hätten in diesen niemals Platz gehabt (Schnitt N – S).

Sie hätten ca. 2,5 m seitlich in die Wände der Bedienungsgänge gereicht, wofür nicht der geringste Hinweis vorhanden ist. Ebenso fehlt jeder Hinweis auf die notwendigen Schächte von den seitlichen *praefurnien* nach oben in das Hypokaust. Es gibt, nur die oben beschriebenen mittig aus den Gängen aufsteigenden Schächte.

- Auch ist bei Betrachtung des engen, winkligen Abstiegs zu den Gängen (E) kaum vorstellbar, dass durch diesen die für eine Beheizung so großer Räume (2 u. 3) nötigen großen Mengen sperrigen Heizmaterials eingebracht werden konnten (Abb. 56 u. Detail in 49):



Abb. 56: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; am Westhang gelegener Zugang über schmale Treppen zum rechtwinklig nach rechts befindlichen Bedienungsgang (vgl. Abb. 49, Detailzeichnung von E).

- Der im Vergleich zu den beschriebenen Schächten größere Schacht (S5) im Raum 5 hätte theoretisch in Verbindung mit einem dort eingebauten Ofen (Abb. 53) als Teil eines *praefurniums* dienen können, es gibt aber auch dort nicht den geringsten Hinweis auf irgendwelche Einbauten. Er kommt deshalb und aus anderen Gründen (fehlende Abzüge) nicht als *praefurnium* in Betracht.

- In allen anderen bisher ebenfalls als beheizt angenommenen Räumen (1 u.4) gibt es, wie schon erwähnt, nicht die geringste Spur eines *praefurniums*, wobei jeder dieser Räume schon auf Grund seiner Größe ein eigenes gebraucht hätte.

Abzüge (Tubulusstränge):

(Die Position der bekannten oder vermuteten Abzüge siehe Abb. 49)

- Es fehlen die für eine Hypokaustheizung unabdingbaren Abzüge. Es ist zwar im unmittelbaren Bereich der angedachten Heizung insgesamt gesichert ein Abzug vorhanden, der Raum 4 zugeordnet werden könnte (L1), ein weiterer (später zugemauerter) könnte in der Nordwand von Raum 2 gewesen sein (L3). Der Abzug für Raum 4 ist in seinem unteren Bereich gemauert und geht dann in einen einzigen Tubulusstrang über.



Abb. 57: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; der Abzug, der Raum 4 zugeordnet werden könnte.



Abb. 58: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; Übergang vom gemauerten Teil des Abzugs in den Tubulusstrang.

Ein Abzug (L2), der gleich wie L1 ausgeführt ist, befindet sich in einem Gang, der aber weit vom Hypokaust entfernt ist. Es gibt Hinweise (Reste) auf das Vorhandensein zweier weiterer Abzüge – einer ein Tubulusstrang (L4), einer ein senkrecht rundes Tonrohr (L5) –, die sich noch weiter vom Hypokaust entfernt befinden und einem sog. „externen Ofen“ zugeordnet werden⁸⁶.

- Das ist in jedem Fall viel zu wenig – bei der Größe der Anlage praktisch nichts – es wäre eine wesentlich größere Anzahl an den richtigen Stellen (vorzugsweise in den Raumecken) notwendig gewesen, um den für den Betrieb nötigen Durchzug und die Wärmeverteilung im Hypokaust zu bewirken⁸⁷. Sehr grobe Faustregel: der offene Querschnitt der Abzüge sollte dem offenen Querschnitt der *praefurnien* entsprechen.

⁸⁶ Adembri, Cinque 2010, 51.

⁸⁷ Kretschmer 1953, 17f.

Lehar 2012, 114-121.

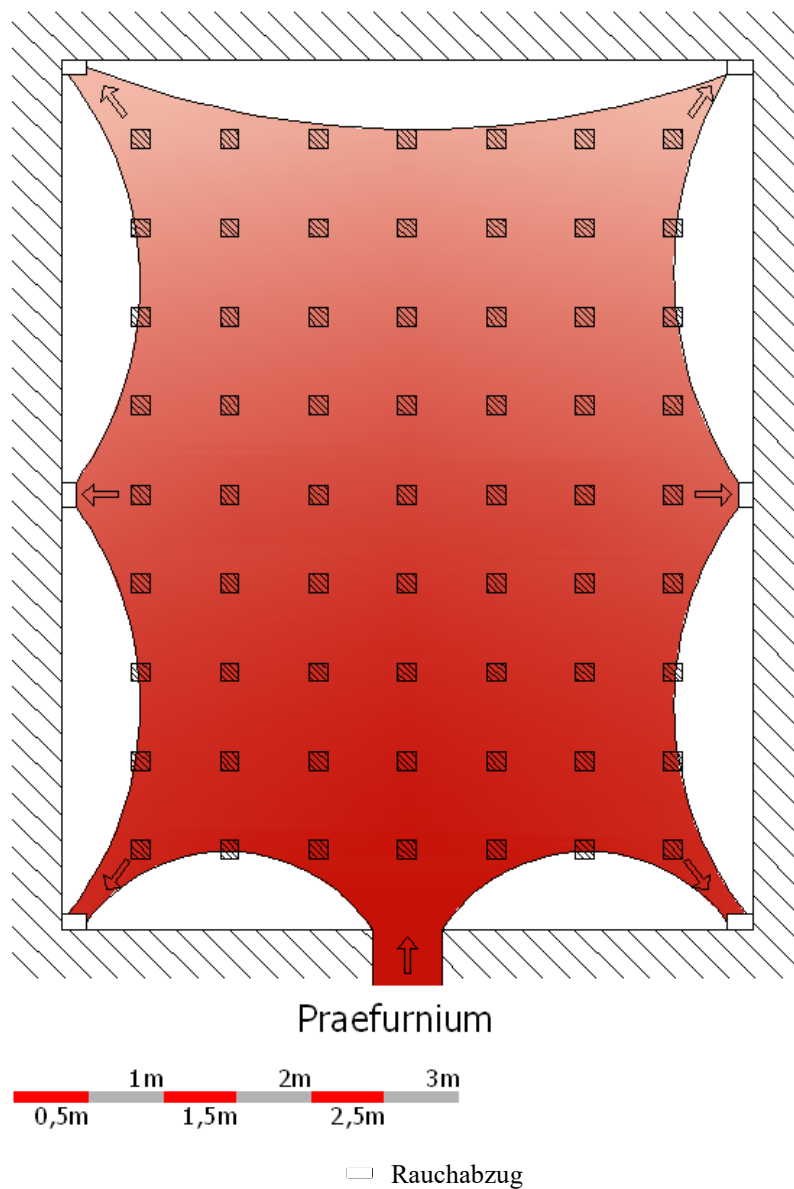


Abb. 59: Schema einer idealen Anordnung der Abzüge in einem großen Raum.

- Die wenigen vorhandenen Abzüge sind viel zu hoch⁸⁸, die Rauchgase wären auf dem langen Weg nach oben zu kühl geworden, daher wären die Abzüge bei einem Heizbetrieb versottet, das heißt durch Kondensation des im abgekühlten Rauchgas vorhandenen Wasserdampfs wären Abzüge, Mauerwerk, Verputz und Wandmalereien beschädigt worden⁸⁹. Sie waren sicher keine Rauchabzüge einer Hypokaustheizung,

⁸⁸ Kretschmer 1953, 29.

Lehar 2012, 173f.

⁸⁹ Lehar 2012, 125-142.

sondern dienten möglicherweise als Luftschächte, um eine geringfügige Luftzirkulation unter dem aufgeständerten Boden („Hypokaust“) zu ermöglichen.



Abb. 60: Archäologischer Park Carnuntum (A), Haus II; zum besseren Verständnis – Versottung im Bereich eines Abzugs.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass kein einziger Raum über (mindestens) ein eigenes Praefurnium oder eine genügende Anzahl von Abzügen verfügt hat.

Eine Hypokaustheizung war es also nicht.

Ergänzend möchte der Autor (mangels Daten ohne eine Berechnung vorgenommen zu haben) anmerken, dass – wie man aus den noch vorhandenen Mauern erschließen kann – derart hohe Räume mit einer Hypokaustheizung keinesfalls beheizbar sind. Lediglich eine Bodentemperierung wäre – wenn alle anderen Voraussetzungen gegeben gewesen wären – denkbar (siehe auch die Ausführungen zum Tempio di Minerva Medica).

Wie sieht es mit einer möglichen Raumkühlung aus?

Grundsätzlich sei vorausgeschickt, dass gemäß modernen Erkenntnissen eine Bodenkühlung unangenehm und ineffizient ist. Eine Flächenkühlung erscheint nur mittels Deckenkühlung sinnvoll, weil einerseits die Benutzer des Raums direkt einer angenehm kühlen Kältestrahlung ausgesetzt sind und zusätzlich mittelfristig die an der Kühldecke abgekühlte (schwerere) Luft im Raum absinkt, dadurch warme (leichtere) Raumluft zum Aufsteigen bringt und so der Raum insgesamt gekühlt wird. Auf einem gekühlten Boden bleibt die einmal gekühlte (schwerere) Luft liegen, weil nur warme Luft aufsteigt. Man bekommt zwar kalte Füße, der Raum als ganzer bleibt aber warm⁹⁰.

Im Fall des Winterpalastes besteht die Theorie, das vorhandene *hypokaust* könnte auch als Kühlfläche gedient haben⁹¹. Diese Möglichkeit soll hier überprüft werden.

Angedacht wurde eine Lösung, bei der ein etwas entfernt liegender „Ofen“ seine benötigte Verbrennungsluft durch ein Tonrohr aus dem Hypokaust ansaugt. Die gleiche Luftmenge strömt dann laufend durch die oben erwähnten Schächte von den Bedienungsgängen in das Hypokaust nach. Wenn das in der Nacht geschieht, wird diese Luft kühl sein, sie kann also die *Suspensura* an der Unterseite ein wenig abkühlen. Dadurch soll der Boden des darüber liegenden Raums ebenfalls mit der Zeit etwas kühler werden. Er könnte daher der Raumluft etwas Wärme entziehen, also kühlen⁹². Sehr groß würde die Wirkung bei der Größe der Räume aber nicht sein können. Dazu ein Zitat nach W. Meile:

„Ob nun die Kühlung in dieser Form auch tatsächlich effektiv sein hätte können, ist schwierig zu sagen. Von diesen Hypokaust-Heizungen ist ja bekannt, dass sie thermisch ziemlich träge waren, da der Fußboden in der Regel recht dick war. Aufheizzeiten bis zur vollständigen Durchwärmung waren ja viele Stunden bis hin zu Tagen – und das bei den doch eher hohen Temperaturen der Heizgase. Wenn nun in heißen Zeiten die Luft nachts nur wenig abkühlt, bleibt es also fraglich, ob geringe Temperaturunterschiede zwischen Raum- und Außenluft in der Lage waren, den gewünschten Kühleffekt zu realisieren.“⁹³

⁹⁰ Der Installateur 2020.
Glück 1999, 14f.

⁹¹ Adembri, Cinque 2010, 48-54.

⁹² Adembri, Cinque 2010, 48-54.

⁹³ W. Meile Ass. Prof. Dipl. Ing. Dr., Technische Universität Graz; Mail vom 7.11.2016.

Rein physikalisch ist eine Kühlung mit Hilfe von Wärme aber prinzipiell möglich, wie B. Adembri und G. E. Cinque richtig erkannt haben⁹⁴.

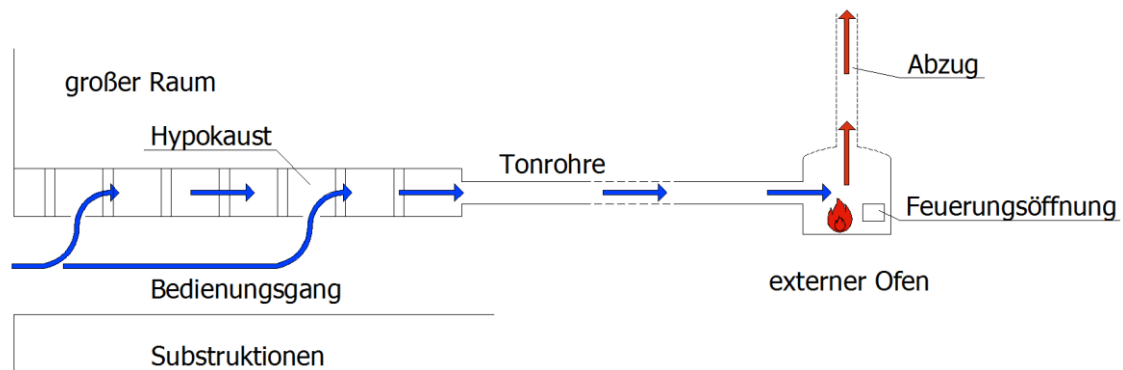


Abb. 61: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; Schema einer Kühlung des Hypokausts durch von einem externen Ofen angesaugte kühle Frischluft lt. B. Adembri u. G. E. Cinque.

So einfach das zunächst aussieht, so kompliziert ist es im Detail nachzuvollziehen.

Gemäß einer Berechnung einer derartigen hypothetischen Anlage⁹⁵ hätte der Ofen so ähnlich wie der in Abb. 55 gezeigte aussehen und eine Grundfläche von ca. 9 m² haben müssen. Die Feuerungsöffnung hätte unbedingt hermetisch schließen müssen, damit die Zuluft über das lange Verbindungsrohr zu Raum 2 angesaugt werden konnte. Das Zuluftrohr hätte unmittelbar über dem Boden einmünden müssen (vgl. Abb. 73), um das Feuer von unten möglichst gut zu durchströmen. Bei der Schemaskizze von B. Adembri u. G. E. Cinque⁹⁶ mündet das Rohr auf halber Höhe in den Ofen, die Luft streicht daher großteils über das Feuer hinweg; eine schlechte Verbrennung wäre die Folge (vgl. auch Abb. 61). Der Abzug müsste gegenüber der Einmündung des Zuluftrohres gelegen sein, um eine möglichst gute Durchströmung des Feuers mit Luft zur Verbrennung zu gewährleisten. Er hätte bei einem Innenmaß von 50 x 50 cm eine Höhe von mindestens 8 m haben müssen.

Die eingehende Untersuchung des Bauwerks spricht nicht für eine tatsächliche Umsetzung dieser Idee im Winterpalast:

⁹⁴ Adembri, Cinque 2010, 52-53.

⁹⁵ Ing. Klaus Pointner, Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1; durchgeführt am 6.7.2017; siehe App. 7; bei Interesse können die kompletten, noch umfangreicheren Berechnungen beim Verfasser angefordert, oder beim DAI-Rom in den Unterlagen dieser Publikation eingesehen werden.

⁹⁶ Adembri, Cinque 2010, 53 Abb. 13.

- Im angenommenen Bereich im SO des Winterpalastes liegen zwei Räume, die als „Ofen“ – wenn es einer war, was eher unwahrscheinlich ist – in Betracht gezogen wurden⁹⁷. Keiner der beiden dort vorhandenen Räume kann aber in seinem heutigen Erscheinungsbild den Anforderungen eines Ofens entsprechen, wobei anzumerken ist, dass dieser Bereich offensichtlich durch zahlreiche Ein- und Umbauten mehrfach verändert worden ist, was ein Nachvollziehen der eine Kühlung betreffenden Überlegungen zusätzlich erschwert.

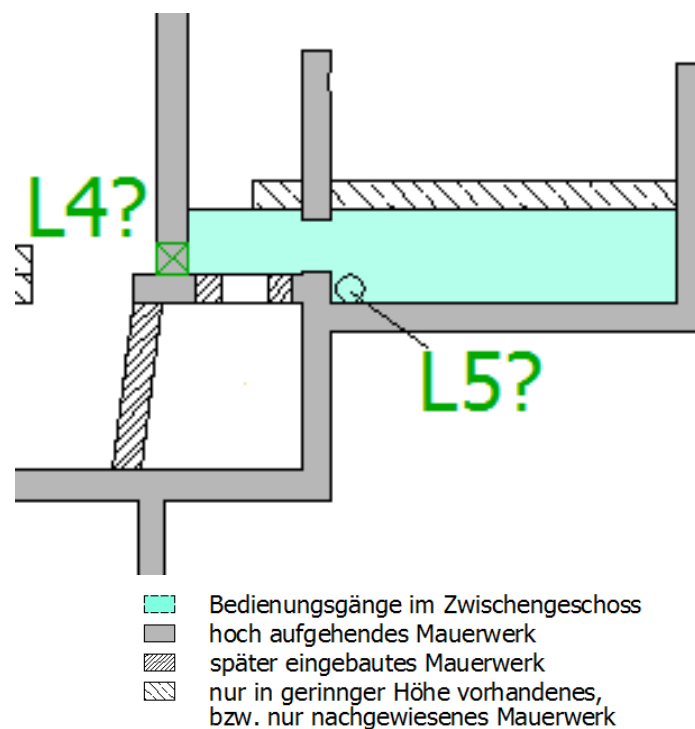


Abb. 62: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast SO-Bereich; Grundriss des Bereichs, in dem der sogenannte Ofen vermutet wird (Ausschnitt aus Abb. 49).

- Der längliche Bedienungsgang (türkis unterlegt) hat keinerlei Ähnlichkeit mit einem Ofen. Er ist langgestreckt und hat einen begehbaren Eingang. Die Reste der beiden möglichen Abzüge – ein Tubulusstrang (L4) und ein Tonrohr (Abb. 63) mit ca. 20 cm Durchmesser⁹⁸ (L5) – sind im vorderen Bereich willkürlich angeordnet und wären als Abzug viel zu klein gewesen. Die Nachrechnung (Appendix 7) einer Anlage wie sie von B. Adembri und G. E. Cinque gedacht ist (Abb. 61), ergibt – wie oben ausgeführt – einen

⁹⁷ Adembri, Cinque 2010, 54 Abb. 15.
vergl. auch oben Abb. 49.

⁹⁸ Adembri, Cinque 2010, 49.

Schornstein mit einem Innenmaß von 50 x 50 cm (= offene Fläche von 2.500 cm²), also weit mehr als ein Tubulusstrang und ein kleines Tonrohr zusammen (= offene Fläche von ca. 418 cm²) Die notwendige Schornsteinhöhe wäre 8 m gewesen⁹⁹. Auch das ist auf Basis der vorgefundenen Reste nur schwer vorstellbar. Im Übrigen muss man sich bei der Betrachtung einer derartigen Anlage darüber im Klaren sein, dass in dem Ofen ein sehr großes Feuer brennen musste, das einigen Platz brauchte und einen hohen Verbrauch von Holz hatte. Es wären daher eine genügend große Feuerungsöffnung und viel Platz für die Lagerung und das Heranschaffen des Brennstoffs zum Ofen notwendig gewesen.



Abb. 63: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast SO-Bereich; das Rohr L5; auf Grund seiner Dimension und Positionierung lässt es eher an eine Entlüftung des Bedienungsgangs denken.

- Es besteht eine Öffnung zu dem daneben liegenden trapezförmigen Raum, die man als Feuerungsöffnung für diesen Ofen ansprechen kann (Abb. 64 u. 66). Allerdings, wie

⁹⁹ Ing. Klaus Pointner, Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1; durchgeführt am 6.7.2017; siehe App. 7; bei Interesse können die kompletten, noch umfangreicheren Berechnungen beim Verfasser angefordert, oder beim DAI-Rom in den Unterlagen dieser Publikation eingesehen werden.

kamen Brennmaterial und Bedienungspersonal in diesen Raum, wenn in diesem Bereich des Bedienungsgangs / „Ofen“ ein Feuer brannte?



Abb. 64: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast SO-Bereich; Blick in den Bedienungsgang („Ofen“) mit der Feuerungsöffnung zu dessen Beheizung aus dem trapezförmigen Nachbarraum.

- Es sind keine Spuren sichtbar, die auf ein sehr großes Feuer in diesem Raum hindeuten.
- Um ein Ansaugen der Frischluft aus dem Tonrohr, das die Verbindung zum Hypokaust von Raum 2 herstellen sollte, zu bewirken, musste es möglich sein, sämtliche anderen Öffnungen, durch die Luft eingesaugt werden konnte, luftdicht zu verschließen, denn andernfalls hätte sich der Ofen wegen des geringeren Widerstands (nur kurzer Weg) von dort seine Verbrennungsluft geholt und nicht durch das ca. 37 m lange Tonrohr aus Raum 2. Ob die Römer nicht nur eine Feuerungsöffnung sondern auch noch eine begehbare Türe luftdicht verschließen konnten, sei dahingestellt. Bei der Untersuchung dieses Bereichs konnte der Autor keine Anzeichen für brandfeste, hermetisch schließbare Türen finden. Aus den aufgezählten Gründen dürfte dieser Raum daher als Ofen ausscheiden.

- Bleibt der zweite (trapezförmige) Raum in diesem Bereich. Er ist durch die oben erwähnte Feuerungsöffnung mit dem Bedienungsgang verbunden und würde in Form und Größe (ca. 10,5 m²) eher einem großen Ofen entsprechen und wäre vom Bedienungsgang her beheizbar (siehe auch unten). Aber wie schon B. Adembri und G. E. Cinque richtig erkannt haben, dürfte es sich dabei um einen ursprünglich mit einem Hypokaust beheizten Raum handeln, der ein- oder mehrfach umgebaut und verkleinert worden ist¹⁰⁰:
- Nur zwei Mauern aus *opus reticulatum* stammen aus der Haupt-Bauzeit des Winterpalasts¹⁰¹,



Abb. 65: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast SO-Bereich; die beiden Mauern (S und W) aus *opus reticulatum* mit möglichen Spuren einer *suspensura*.

- Die dritte besteht aus unterschiedlichen Bauteilen, die wahrscheinlich später zusammengefügt wurden¹⁰². Die in ihr vorhandene (oben erwähnte) mögliche

¹⁰⁰ Adembri, Cinque 2010, 51.

¹⁰¹ persönliche Mitteilung H. J. Beste Dr. Ing., Bauforscher DAI-Rom bei der Besichtigung / Beurteilung der Bausubstanz des Winterpalasts 2016.

¹⁰² persönliche Mitteilung H. J. Beste Dr. Ing., Bauforscher DAI-Rom bei der Besichtigung / Beurteilung der Bausubstanz des Winterpalasts 2016.

Schüröffnung (Abb. 66) wäre wahrscheinlich zu klein gewesen, um die benötigten Holzmengen aus dem Bedienungsgang dem „Ofen“ zuzuführen (wie gesagt, er hätte eine Grundfläche von ca. 10,5 m² gehabt!)¹⁰³.



Abb. 66: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast SO-Bereich; die dritte aus verschiedenen Baumaterialien zusammengefügte Mauer (O) mit nachträglich eingefügter Schüröffnung.

- Die vierte Wand aus Ziegeln, die den „Ofen“ im Norden begrenzt, wurde offensichtlich erheblich später schief eingefügt¹⁰⁴. Es ist dies – soweit aus den Plänen erkennbar – die einzige Mauer im ganzen Gebäude, die nicht rechtwinkelig eingefügt ist.

¹⁰³ Was den hermetischen Verschluss der Schüröffnung betrifft – siehe oben.

¹⁰⁴ Adembri, Cinque 2010, 51.

persönliche Mitteilung H. J. Beste Dr. Ing., Bauforscher DAI-Rom bei der Besichtigung / Beurteilung der Bausubstanz des Winterpalasts 2016.



Abb. 67: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast SO-Bereich; die vierte aus Ziegeln nachträglich eingebaute Mauer (N).

- Die heute vorhandene Struktur war aus Sicht des Verfassers kein für den geforderten Zweck geeigneter Ofen – wenn es überhaupt jemals einer war. Auch sind keine Spuren sichtbar, die auf ein Feuer in diesem Raum hindeuten.
Trotzdem wurde er – weil er den Erfordernissen (u. a. Größe) am nächsten kommt – für die Berechnungen fiktiv als Ofen herangezogen.
- Es ist nicht erwiesen, dass das erwähnte Tonrohr den großen Raum 2 mit dem „Ofenbereich“ verbunden hat. Es beginnt zwar im großen Raum 2 (Abb. 68), sein Verlauf ist aber völlig ungewiss, eine Einmündung in einen der beiden postulierten „Öfen“ trotz gründlicher Reinigung und anschließender Suche nicht nachweisbar. Auch die Geoprospektion¹⁰⁵ ergab anscheinend diesbezüglich keine sicheren Resultate.

¹⁰⁵ Cinque 2004.



Abb. 68: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; Beginn des Tonrohrs (D = 28 cm) in Raum 2.

Zur Funktionsfähigkeit der Anlage (wenn sie bestanden hätte):

- Um Raum 2 zu kühlen, muss die *suspensura* von unten abgekühlt werden. Das setzt voraus, dass im darunter liegende Hypokaust (aufgeständerter Boden) die Lufttemperatur durch angesaugte kühle Nachtluft abgekühlt wird. Dadurch sinkt die Temperatur der *suspensura* und diese kann Wärme aus dem Raum 2 aufnehmen, ihn also kühlen.
- Um in einem Raum – in unserem Fall dem Hypokaust – mit Luftheizung oder Luftkühlung eine Wirkung zu erzielen, muss dessen Luft mindestens 4 mal pro Stunde (öfter wäre besser) ausgetauscht werden¹⁰⁶, das sind für das „Hypokaust“ unter Raum 2 und 3 rund 900 m³ pro Stunde.
- Selbst wenn „Ofen“ und Rohr, so wie gedacht, vorhanden gewesen wären, ergibt eine Berechnung mit einem für komplizierte Fälle speziell entwickelten EDV-Programm durch den Fachmann Ing. K. Pointner, dass ein Rohr mit 28 cm Innendurchmesser

¹⁰⁶ Brüner 1981, 281f.

keinesfalls ausreicht, die zu einer wenigstens geringfügigen Kühlung des Hypokausts des großen Raums 2 notwendige Luftmenge zu transportieren. Es wären maximal 251 m³ erreichbar gewesen; also ein Luftwechsel von nur 1,16 x pro Stunde (Appendix 8)¹⁰⁷. Das ist viel zu wenig, um irgendeinen Kühleffekt zu erzielen.

- Außerdem wäre keine vollkommene Durchlüftung des Hypokausts bei einem Frischlufteintritt durch die Verbindungsschächte zwischen Bedienungsgängen und Hypokaust von Raum 2 erfolgt. Die Schächte sind für diesen Zweck falsch positioniert.

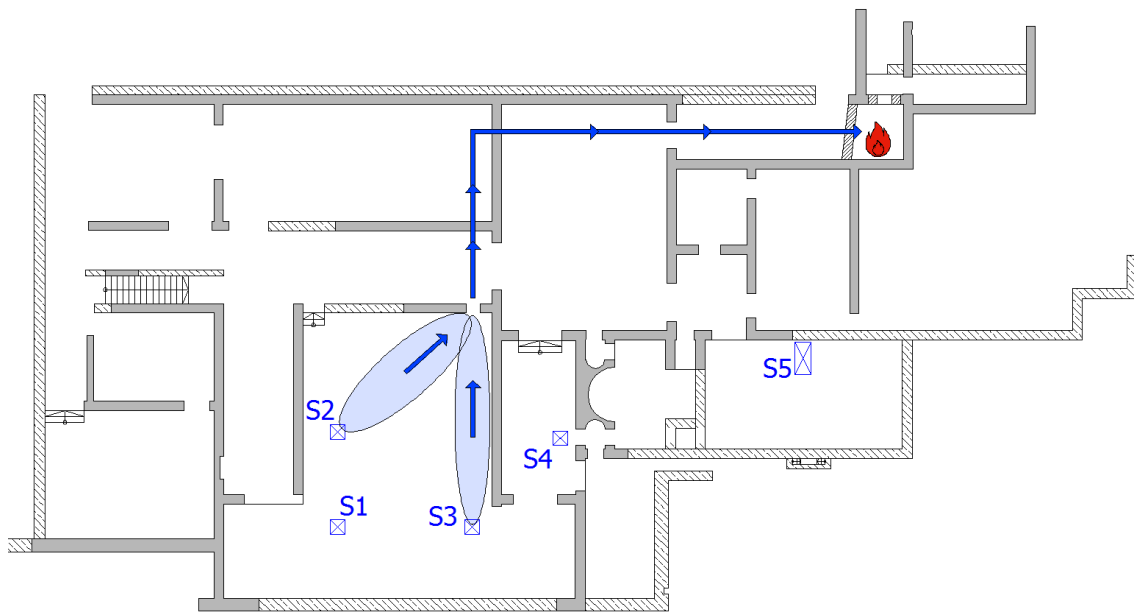


Abb. 69: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; schematische Darstellung der Strömung der kühlen Luft im Hypokaust von Raum 2; die Bedienungsgänge erzeugen weniger Widerstand als das Hypokaust (niederer und Pfeiler), die Luft nimmt daher den leichteren (u. kürzesten) Weg, in diesem Fall nur von S2 und S3 zum Beginn des Rohres zum Ofen. Es wird so nur ein kleiner Teil der gesamten Bodenfläche von der kühlen Luft erreicht.

Zusammenfassend muss der Verfasser feststellen, dass auf Basis der vorhandenen Befunde nicht bewiesen werden kann, dass es in Raum 2 des Winterpalastes eine funktionierende Bodenkühlung gegeben hat. Für die Räume 1, 3, 4 und 5 kann man sie sicher ausschließen. Selbst wenn alle den Bau betreffenden Annahmen von B. Adembri und G. E. Cinque zuträfen, wäre die Anlage aus den oben angeführten Gründen nicht funktionstauglich gewesen. Dass es

¹⁰⁷ Ing. Klaus Pointner, Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1; durchgeführt am 6.7.2017; siehe App. 7; bei Interesse können die kompletten, noch umfangreicheren Berechnungen beim Verfasser angefordert, oder beim DAI-Rom in den Unterlagen dieser Publikation eingesehen werden.

in diesem Fall ein Versuch mit völlig untauglichen Mitteln gewesen wäre, kann man aber nicht ausschließen.

Wenn also – wie es aussieht – das Hypokaust (der aufgeständerte Boden) in der vorhandenen Form weder für eine Heizung noch für eine Kühlung verwendet werden konnte, wozu könnte es gedient haben? Die Römer waren zu erfahrene Baumeister, als dass sie eine derartige Konstruktion ohne Grund gewählt hätten.

Dazu eine Überlegung:

dem Autor fiel bei Betrachtung von Schnitten (O – W) des Gebäudes auf, dass der aufgeständerte Boden (Hypokaust) ziemlich genau dort beginnt, wo das oberste Geschoß nicht mehr auf dem gewachsenen Boden, sondern auf den Substruktionsbauten aufliegt:

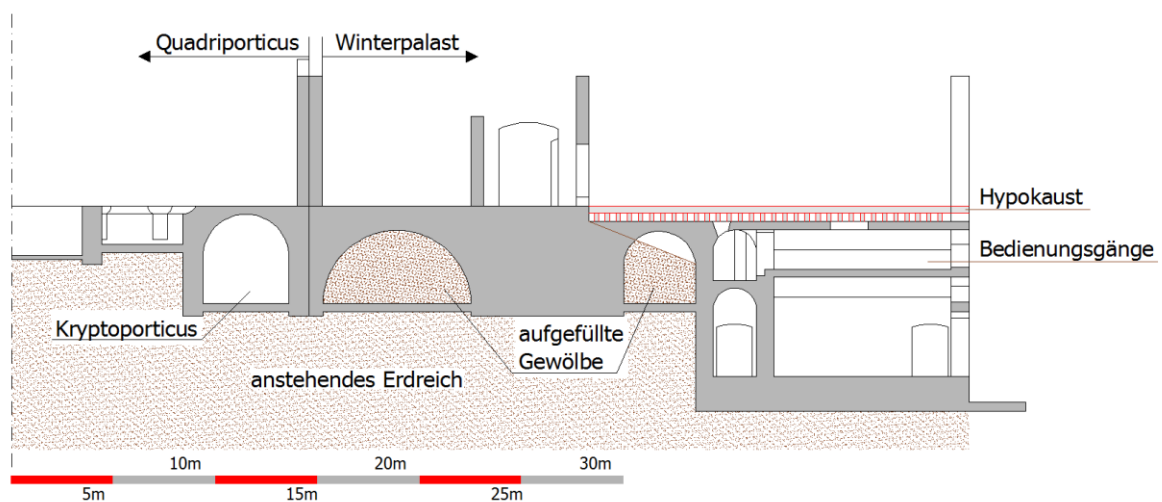


Abb. 70: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; Schnitt (O – W) durch Winterpalast und *quadriporticus* (erweiterte Umzeichnung nach Schnitt von B. Adembri und G.E. Cinque 2010, 54 Abb. 15).

Der Grund könnte in der Statik des Gebäudes liegen. Da das *Edificio con Pesciera* baulich aus zwei Teilen besteht¹⁰⁸, und die später hinzugefügte *Pesciera*¹⁰⁹ ein um einen Meter höheres Laufniveau als der bereits bestehende Winterpalast aufwies, war es wahrscheinlich erwünscht, den bereits bestehenden Winterpalast im Zug des Umbaus an das Niveau des neuen, dahinter liegenden Hofes anzugleichen. Im östlichen Teil des Palastes konnte man problemlos auf das

¹⁰⁸ Adembri, Cinque 2010, 47.

persönliche Mitteilung H. J. Beste Dr. Ing., Bauforscher DAI-Rom bei der Besichtigung / Beurteilung der Bausubstanz des Winterpalastes 2016.
Winnefeld 1895, 129.

¹⁰⁹ Adembri, Cinque 2010, 48.

anstehende, gewachsene Erdreich aufschütten. Im westlichen Teil wäre aber das Gewicht der zusätzlichen Gebäudemasse für die bereits vorhandenen Substruktionen zu hoch gewesen. Es musste eine andere, leichtere Lösung gefunden werden. Ein aufgeständerter Boden ist wesentlich leichter als eine einen Meter dicke massive Schicht aus Mauerwerk oder *opus caementitium*. Das Auffüllen zweier tiefer liegender Gewölberäume zu deren Verstärkung¹¹⁰ (Abb. 70) spricht für Probleme mit der Statik; ebenso die Verengung des Bedienungsgangs (Abb. 71) durch ein später eingebautes, ebenfalls mit Erde aufgefülltes Tonnengewölbe:



Abb. 71: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; rechter Hand die Mauer des nachträglich eingebauten Tonnengewölbes, das den Bedienungsgang auf einer Länge von ca. 9 m verengt (vgl. Abb. 52).

Ob diese Idee der Realität entsprechen könnte, oder welche anderen Gründe es möglicherweise für diese Konstruktion gegeben hat, müssen Bauforscher entscheiden.

¹¹⁰ Adembri, Cinque 2010, 47f.

Ausblick

Es ist möglich, dass bei der weiteren Erforschung des Winterpalastes bisher unbekannte Strukturen gefunden werden, oder dass bei anderen römischen Bauten ähnliche entdeckt werden, daher soll zum Abschluss und zur Ergänzung der Ausführungen gezeigt werden, wie eine Bodenkühlung mit dem vorgeschlagenen System für Raum 2 und 3 hätte aussehen müssen, um (mit den eingangs beschriebenen Einschränkungen einer Bodenkühlung) zu funktionieren, auch wenn deren Wirkung vermutlich äußerst bescheiden gewesen wäre (siehe oben Zitat W. Meile und unten stehendes Ergebnis einer überschlägigen Berechnung).

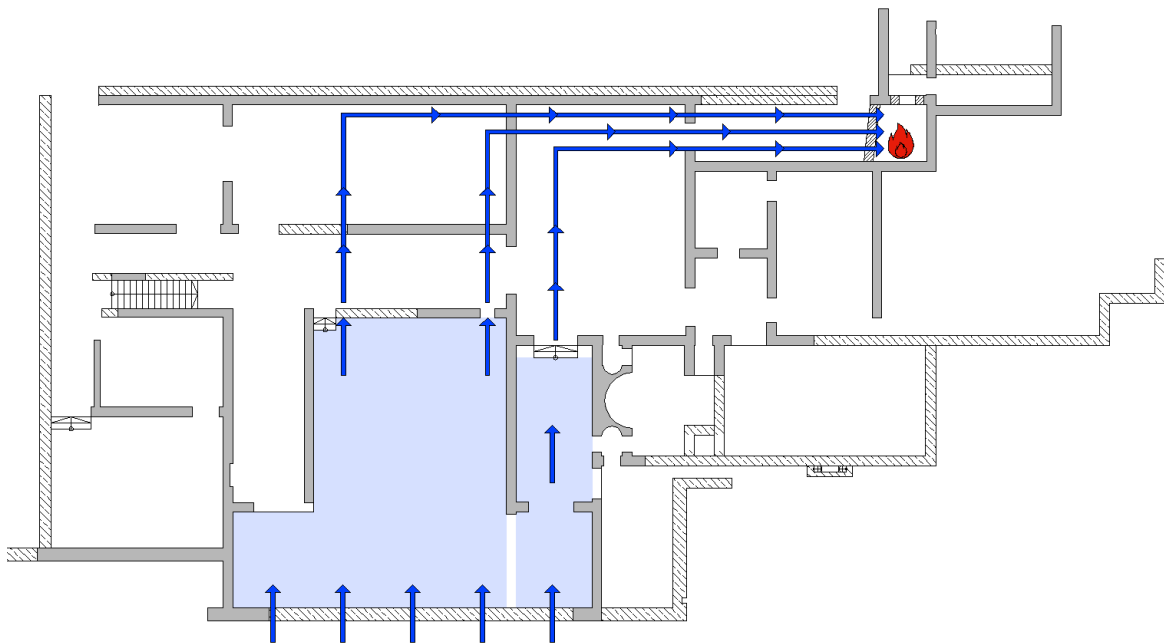


Abb. 72: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; hypothetischer Plan einer möglichen Raumkühlung in Raum 2 und 3 (Grundriss); das Ansaugen der kühlen Außenluft erfolgt durch Öffnungen in der Fassade direkt in das Hypokaust, die Verbindung von Raum 2 und 3 zum „Ofen“ erfolgt jetzt durch 3 Tonrohre ($D = 28$ cm). Damit wäre eine ausreichende Durchlüftung des Hypokausts gegeben (Appendix 8).

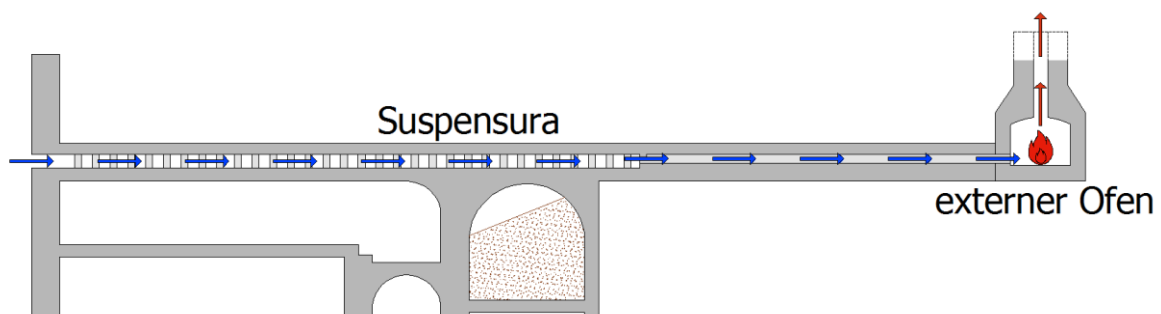


Abb. 73: Tivoli, Villa Hadriana, Winterpalast; die gleiche (hypothetische) Anlage als Schnittbild; Ansaugen der Außenluft jetzt durch Öffnungen in der Fassade und nicht auf dem Umweg durch die Bedienungsgänge.

Auch hier wäre wegen der benötigten großen Mengen an Feuerholz nur der trapezförmige Raum als Ofen in Frage gekommen. Dessen Schornstein (Innenmaß 50 x 50 cm) hätte mindestens 12 m hoch sein müssen und der Holzverbrauch wäre gewaltig gewesen (Appendix 8)¹¹¹.

Um eine Vorstellung von der minimalen Wirkung einer derartigen (theoretisch möglichen, hypothetischen) Anlage zu geben:

Eine stark vereinfachte, überschlägige Berechnung (Appendix 9) ergibt bei einer sommerlichen Raumtemperatur von 28° C am Abend, wenn es gelingt, durch die einströmende kühlere Abendluft die Temperatur im „Hypokaust“ auf 25° C zu senken, einen gesamten Wärmefluss (= Kühlleistung) von rund 6400 Watt pro Stunde von den Räumen 2 und 3 in das gekühlte Hypokaust. Zum besseren Verständnis: zwei gute, transportable Zimmer-Kühlgeräte aus dem Fachhandel können zusammen max. 6.000 Watt Leistung haben und sind laut Herstellerangabe pro Stück für Räume bis 110 m³ Rauminhalt geeignet¹¹². Für die beiden vergleichsweise riesigen Räume 2 und 3 (mit zusammen mindestens 3000 m³ Rauminhalt) bedeutet das praktisch einen Null-Kühleffekt; Eine Durchlüftung der Räume mit kühler Nachtluft hat wesentlich mehr Wirkung. So bleibt wohl – bis auf Weiteres – der Gedanke einer, auf durch Wärme in einem externen Ofen hervorgerufenen Durchlüftung basierenden, wirksamen „Römischen Klimaanlage“ ein Wunschtraum.

¹¹¹ Ing. Klaus Pointner, Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1; durchgeführt am 6.7.2017; siehe App. 8; bei Interesse können die kompletten, noch umfangreicheren Berechnungen beim Verfasser angefordert oder beim DAI-Rom in den Unterlagen dieser Publikation eingesehen werden.

¹¹² z.B. De'Longhi Pinguino PAC EX 120 Silent
><https://www.delonghi.com/de-at/produkte/komfort/klimageraete/mobile-klimageraete-pinguino><

Danksagung

Als erstes gilt mein Dank der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG- Projekt BE 5959/1-1), die durch ihre finanzielle Förderung dieses Projekt erst möglich gemacht hat.

Mit Geld allein ist es aber noch nicht getan; Mitarbeit und Hilfe vieler Helfer und Kollegen machen einen Erfolg erst möglich:

Daher möchte ich mich bei Dr. Hubertus Manderscheid für die umfassende Betreuung vor Ort und die sachkundige Mitarbeit, bei Dr. Heinz-Juergen Beste für die Bauarchäologische Beratung bedanken.

Ebenso für die gute Zusammenarbeit, fachliche Gespräche und Informationen bei

Dr. Ersilia Maria Loreti, funzionaria der Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali, Roma;

Dr. Mariarosaria Barbera, zwischenzeitlich Direktorin des Parco Archeologico di Ostia Antica;

Dr. Benedetta Adembri, funzionaria des Istituto Autonomo Villa Adriana e Villa d'Este, Tivoli.

Ihr vor allem für die ausführlichen Begehungen und Auskünfte über den sog. Winterpalast.

Salvo Barrano MA hat mich im Gespräch im Tempio Minerva Medica auf viele Details hingewiesen, die er als Leiter der Ausgrabungen herausgefunden hatte.

Sehr geholfen haben mir die geophysikalischen Untersuchungen der Villa des Maxentius durch ein Team der Universität zu Köln im Herbst 2016 rund um Prof. Dr. Michael Heinzelmann: Koordination Manuela Broisch-Höhner MA, studentische Mitarbeiter: Shabnam Moshfegh Nia, Marina Apatsidis, Linda Stein und Arne Schröder.

Dipl.-Ing. Sabrina Geiermann von der Universität zu Köln trug mit ihren Scans sehr zur Ergänzung der noch nicht ergrabenen Seitenwände der Palastaula des Maxentius bei.

Last but not least ein Dankeschön den Mitarbeitern aus Innsbruck: Ing. Horst Mayregger, Ing. Klaus Pointner und Fach-Päd. Elisabeth Prettnner. Einen erheblichen Anteil an dieser Arbeit hat meine Technische Zeichnerin Tanja Reinhart, die meine nur skizzenhaften Darstellungen mittels CAD für die Publikation geeignet gemacht hat.

Literatur

- Adembri – Cinque 2010** – B. Adembri – G. E. Cinque, *Tecnica e tecnologia nell'Edificio con Peschiera di Villa Adriana*, in: G. Ghini (Hrsg.), *Lazio e Sabina 6. Atti del Convegno ›Sesto Incontro di Studi sul Lazio e la Sabina‹*, Roma, 4-6 marzo 2009, *Lavori e Studi della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio 6 (Rom 2010)* 47–56.
- Baatz 1979** – D. Baatz, *Heizversuch an einer rekonstruierten Kanalheizung in der Saalburg*, *SaalbJb 36, 1979*, 31–44.
- Barbera et al. 2007** – M. Barbera, S. Di Pasquale, P. Palazzo, Roma, *studi e indagini sul cd.Tempio di Minerva Medica*; in: *Associazione Internazionale di Archeologia Classica (Hrsg.), Fasti Online Documents & Resarch (Rom 2007)* 1-21.
- Biasci 2003** – A. Biasci, *Manoscritti, disegni, foto dell'Istituto Archeologico Germanico ed altre notizie inedite sul ›Tempio di Minerva Medica‹*, *BCom 104, 2003*, 145–182.
- Broisch 2017** – M. Broisch-Höhner, *siehe oben Appendix 2 (Köln 2021)*.
- Brück 1997** – J. Brück, *Geschichte und Architektur des römischen Bades von Borg*, in: A. Miron (Hrsg.), *Das Badegebäude der römischen Villa von Borg (Merzig 1997)* 48–75.
- Brünner 1981** – H. Brünner, *Der Zentralheizungsbauer. Eine Fachkunde für Schule und Praxis mit Berechnungsbeispielen (Wien 1981)*.
- Cinque 2004** – G.E. Cinque, *Giuseppina Enrica Cinque, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Università Roma – Tor Vergata, Rom. Geoscans des Winterpalastes in der Villa Adriana (2004)*.
- De Franceschini 1991** – M. De Franceschini, *Villa Adriana: mosaici, pavimenti, edifici (Rom 1991)*.
- De Maeyer 1937** – R. De Maeyer, *De Romeinsche Villa's in Belgie (Antwerpen 1937)*.
- Fusch 1910** – G. Fusch, *Über Hypokausten-Heizungen und mittelalterliche Heizungsanlagen (Hannover 1910)*.
- Glück 1999** – B. Glück, *Thermische Bauteilaktivierung (Bauteilheizung und Bauteilkühlung)*; in: *Forschungsbericht der Rud. Otto Meyer-Umwelt-Stiftung (Hamburg 1999)*.
- Gusman 1914** – P. Gusman, *L'art décoratif de Rome de la fin de la République au IVe siècle (Paris 1914)*.
- Hüser 1979** – H. Hüser, *Wärmetechnische Messungen an einer Hypokaustenheizung in der Saalburg*, *SaalbJb 36, 1979*, 12–30.

- Kollmar 1980** – A. Kollmar, Technik und Berechnung der Multibeton-Flächenheizung (Bergisch-Gladbach 1980).
- Kretzschmer 1953** – F. Kretzschmer, Hypokausten, SaalbJb 12, 1953, 7–41.
- Lehar 2012** – H. Lehar, Die römische Hypokaustheizung. Berechnungen und Überlegungen zu Leistung, Aufbau und Funktion (Aachen 2012).
- Mangiante – Leone 2008** – F. Mangiante – F. Leone, Temperatures and Rainfalls in Rome. A Climatic Analysis, in: Apat – National Geological Service (Hrsg.), Climatic Analysis of Temperatures and Precipitation in Rome (Florenz 2008) 169–186.
- Peschak 1983** – H. Peschak, Wozu brauchen wir Fußbodenheizung?, in: R. Jauschowitz (Hrsg.), Fachtagung Fußbodenheizung an der HTL – Pinkafeld (Pinkafeld 1983) 3–31.
- Pisani Sartorio – Calza 1976** – G. Pisani Sartorio – R. Calza, La Villa di Massenzio sulla Via Appia. Il palazzo – le opere d’arte, I Monumenti Romani 6 ([Rom] 1976).
- Schiebold 2005** – H. Schiebold, Strömungsverlauf der Rauchgase in Hypokaustanlagen für Heizung und Wassererwärmung, Gesundheits-Ingenieur 126, 2005, Nr. 5, 254–259.
- Stettler 1957** – M. Stettler, St. Gereon in Köln und der sogenannte Tempel der Minerva Medica in Rom, JbRGZM 4, 1957, 123–128.
- Winnefeld 1895** – H. Winnefeld, Die Villa des Hadrian bei Tivoli. Aufnahmen und Untersuchungen, JdI, Ergh. 3 (Berlin 1895).

Andere Quellen

- Borghini 2012** – S. Borghini, Aula decagonale cd. Tempio di Minerva Medica, in: Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il MNR e l’Area Archeologica di Roma (Hrsg.), Siti Archeologici (Rom 2012):
 ›http://archeoroma.beniculturali.it/siti_archeologici/tempio_di_minerva_medica‹ (abgerufen 14.01.2017).
- Broisch 2016** – M. Broisch-Höhner, Maxentius Villa – Via Appia Geophysikprojekt 2016, interner Bericht der Universität Köln (Köln 2016) 1-7.
- Broisch 2017** – E-Mail von Manuela Broisch-Höhner an Hannes Lehar vom 13. 04. 2017.
- Deichmann 1942** – F.W. Deichmann, Grabungsskizzen, in: Arachne Archiv der Universität Köln: ›<http://arachne.uni-koeln.de/books/archive/B-41-300>‹ (abgerufen 15.01.2018).

De Franceschini 2010 – M. De Franceschini, M. De Franceschini, Hadrian's Villa near Tivoli, Rome: ><http://www.villa-adriana-net>; <http://www.villa-adriana-net/pages/eng/page■.html>< [die gewünschte Seitenzahl kann eingesetzt werden] (abgerufen 12. 01. 2017).

Der Installateur 2020 – Deckenkühlung statt Klimaanlage in: Der österreichische Installateur – Das offizielle Organ der Bundesinnung der Sanitär-Heizung-und Lüftungstechniker Österreichs (Wien 2020)
><http://www.derinstallateur.at/singleview/article/deckenkuehlung-statt-klimaanlage>< (abgerufen 20.09.2020).

Il Meteo 2016 – Il Meteo s.r.l. Padova. Clima Roma archivio meteo:
><http://www.ilmeteo.it/portale/medie-climatiche/Roma>< (abgerufen 05.12.2016).

Jürgens 2014 – C. Jürgens, Römische Palastaula (UNESCO Weltkulturerbe Trier), Konstantinbasilika, in: LVR (Hrsg.), Kultur. Landschaft. Digital (2014):
><https://www.kuladig.de/Objektansicht/O-94147-20140612-16>< (abgerufen 10.12.2016).

Stazione Meteorologica – Stazione Meteorologica di Roma Urbe e la stazione meteorologica di riferimento per il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Dati climatologici:
>https://it.wikipedia.org/wiki/Stazione_meteorologica_di_Roma_Urbe< (abgerufen 05.12.2016).

Abbildungsnachweis ©

Titelblatt: Villa Hadriana; H. Lehar, MIBACT-Su concessione dell' Istituto autonomo Villa Adriana-Villa d' Este.

Tempio di Minerva Medica; H. Lehar, Su concessione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Speciale Archeologia Belle Arti e Paesaggio di Roma.

Villa des Maxentius; H. Lehar, Su concessione di Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali Parco dell' Appia Antica Museo delle Mura e Museo Della Villa di Massenzio.

Abb.: 1, 2, 5-12, 14, 16, 22, 27-39, 41, 44, 49, 51-53, 55, 59-61, 64, 69, 70, 72, 73 H. Lehar

Abb.: 4, 13, 17, 20, 21, 23-25 H. Lehar, Su concessione di Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali Parco dell' Appia Antica Museo delle Mura e Museo Della Villa di Massenzio.

Abb.: 26, 40-43 H. Lehar, Su concessione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Speciale Archeologia Belle Arti e Paesaggio di Roma.

Abb.: 46-48, 50, 56-58, 65-67, 71 H. Lehar, MIBACT-Su concessione dell' Istituto autonomo Villa Adriana-Villa d' Este.

Abb.: 68 H. Manderscheid, MIBACT-Su concessione dell' Istituto autonomo Villa Adriana-Villa d' Este.

Abb.: 63, 64 H. Mayregger, MIBACT-Su concessione dell' Istituto autonomo Villa Adriana-Villa d' Este.

Abb.: 45 aus P. Gusman, L'art décoratif de Rome de la fin de la République au IVe siècle (Paris 1914), Abb. 265 © bereits abgelaufen.

Appendix 2:

Die geophysikalischen Prospektionen im Bereich der Aula M und der Säle N und O in der Villa des Maxentius

Manuela Broisch-Höhner (Universität zu Köln)

Messverfahren:

Im Zuge des DFG-Projekts, welches sich mit der Maxentius Villa an der Via Appia beschäftigt, konnten vom GeoArchäologie Team¹¹³ der Universität zu Köln vom 10. bis zum 14. Oktober 2016 verschiedene geophysikalische Prospektionen durchgeführt werden.

Obwohl das Untersuchungsgebiet relativ kleinteilig ist (Abb. 1), konnte mit Geomagnetik¹¹⁴, Geoelektrik¹¹⁵ und Georadar¹¹⁶ prospektiert werden. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf dem Areal nördlich von Mausoleum und Circus, welches sich gegenüber von diesen auf einem höheren Niveau befindet. Hier konnten vor, in und hinter der Apsis von Aula M Messungen durchgeführt werden. Eine Gartenanlage, die zum ›Istituto Guglielmo Tagliacarne‹ gehört, war lediglich am letzten Tag für wenige Stunden zugänglich, sodass dort nur Geomagnetik und Geoelektrik eingesetzt wurden¹¹⁷. Insgesamt konnte eine Fläche von ca. 4.000 m² untersucht werden, wobei der Bereich um die Apsis der Aula M während der Radaruntersuchung sowohl mit der 200 MHz Antenne als auch mit der 400 MHz Antenne gemessen wurde.

Vor Beginn der Messung wurde das Areal in orthogonale Flächen unterteilt und mit Hilfe eines Tachymeters und eines GPS - Systems eingemessen¹¹⁸. Mit den so entstandenen Koordinaten konnte ein GIS¹¹⁹ erstellt werden, auf dessen Grundlage die Ergebnisse der verschiedenen Methoden miteinander verglichen und interpretiert wurden¹²⁰. Die anschließende Vorstellung der Ergebnisse sowie ihre Interpretation sind nach Arealen und

¹¹³ M.Broisch-Höhner (Koordination), M. Apatsidis, S. Moshfegh Nia, A.Schröder, L. Stein.

¹¹⁴ Cäsiummagnetometer, Geomatics G-858. Der Abstand zwischen den Sensoren betrug 0,50 m. Auswertung mit MagMap 2000 und Surfer 8.

¹¹⁵ RM 85 Geoscan mit Multiplexer. Verwendet wurden fünf Elektroden in einem Abstand von 0,50 m zueinander. Während der gesamten Messung befanden sich zwei weitere Elektroden außerhalb des Messbereiches im Boden. Auswertung mit Geoplot 3.

¹¹⁶ Radar GSSI, Terra SIR- 3000, 400 MHz und 200 Mhz Antenne. Auswertung mit Radan 6.

¹¹⁷ Zudem wurden wir in den letzten Stunden der Messung von einem starken Platzregen überrascht, so waren Messungen mit dem Georadar nicht mehr durchführbar.

¹¹⁸ Leica TCRP 1200, Trimble G8S.

¹¹⁹ Q-GIS 2.16.1 – Nødebo.

¹²⁰ Die Abbildungen und Interpretationen wurden, mit Ausnahme von Abb. 1, mit AutoCAD 2013 erstellt. Abb. 1 hingegen mit Q-GIS Nødebo 2.16.1

Untersuchungsmethoden gegliedert, wobei die unterschiedlichen Methoden und Ergebnisse, soweit möglich, gegenübergestellt werden.

Interpretation:

Geomagnetik:

Normalerweise eignet sich die Geomagnetik (Abb. 2) nicht unbedingt für kleinteilige Flächen; große Anomalien werden in solchen Fällen meist nur partiell detektiert, und eine Interpretation der gewonnenen Ergebnisse könnte sich als schwierig erweisen. Im Bereich südlich der Apsis der Aula M waren aufgrund der speziellen Situation¹²¹ nur sehr kleinteilige Felder möglich, diese überlappen sich deswegen zum Teil (Abb. 6). Nordöstlich der Apsis konnten im Gartenbereich des ›Istituto Tagliacarne‹ größere zusammenhängende Flächen gemessen werden. Vor Ort stellten wir fest, dass der Garten mit Lichtenanlagen ausgestattet ist. Die dazugehörigen Leitungen sind hier türkis-blau markiert. Weitere Anomalien konnten im südlichen Bereich gefasst werden (Abb. 6: gelb, gestrichelt). Sie zeichnen sich zwar nur schwach ab, könnten allerdings als mögliche Gebäudestrukturen interpretiert werden. Die beiden nördlich liegenden Räume scheinen in ihrer Ausrichtung mit den beiden Apsiden übereinzustimmen. Eine Verbindung des westlich liegenden Raums mit der Apsis O scheint möglich (Abb. 7). Die Struktur südlich davon besitzt eine andere Ausrichtung, die sich mit der Orientierung einiger Anomalien in den westliche liegenden Feldern deckt. Ob die massive lineare Anomalie im Osten des gemessenen Areals (gestrichelte gelbe Linie) einer modernen Provenienz zu Grunde liegt oder doch einen antiken Ursprung hat, ist nicht eindeutig zu entscheiden. Es könnte sich sowohl um einen antiken Weg, als auch um eine moderne Leitung handeln¹²².

Die aufgedeckten Strukturen, im Bereich von Aula M, decken sich streckenweise mit den bereits erforschten Gebäudeteilen und fügen sich daher gut in den Gesamtplan ein (Abb. 7). Weitere Anomalien, gerade im bereits abgetieften Bereich geben Aufschlüsse über die weitere Bebauung. Ob die sichtbaren Strukturen im Zusammenhang mit dem *hypocaustum* zu sehen sind, Substruktionen der Terrassenanlage bilden, oder zu einer Vorgängerbebauung gehören, kann auf der Grundlage des Magnetogramms nicht

¹²¹ Der Bereich ist zum Teil ausgegraben und weist daher einige Höhenunterschiede auf.

¹²² Ein Abgleich mit möglichen Bauplänen könnte hier erste Erkenntnisse liefern.

entschieden werden. Ein Abgleich dieses Bereichs mit den beiden anderen Methoden könnte zu weiteren Erkenntnissen führen.

Geoelektrik:

Durch den Messbereich von ebenfalls zwei Metern (Abb. 3) ergaben sich bei der Untersuchung des Gebiets ähnliche Probleme wie bei der Magnetometermessung. Erschwerend kam hinzu, dass die Elektroden in manchen Bereichen keinen Bodenkontakt hatten. Diese daraus resultierenden Fehlstellen sind im Messbild blau gekennzeichnet (Abb. 8 und Abb. 9). So wurde im Osten des Feldes, welches im Apsisbereich startet, streckenweise direkt auf der Mauer gemessen (blaue Fehlstelle; gelb markiert). Ein weiterer Grund für das lückenhafte Ergebnis ist die Topographie vor Ort. So befinden sich in manchen Feldern Architekturteile (Abb. 8; blauer Kreis), oder ein durch Grabungen entstandener Höhenunterschied liegt vor, sodass die Elektroden während der Messung in der Luft hingen (Abb. 8: rote Kreise). Im tiefer gelegenen Areal konnten die Ergebnisse, die bereits in der Magnetik erfasst wurden, verifiziert werden, wobei das Resultat der Elektrizitätsmessung nicht so deutlich ausfällt wie das der Magnetik (Abb. 9: gelb).

Die größeren Messflächen im Garten des ›Istituto Tagliacarne‹, sowie die Tatsache, dass es sich hier um eine Rasenfläche handelt, die lediglich von vereinzelt Bäumen und Sträuchern eingefasst ist, bildet auch hier eine bessere Ausgangssituation als im Bereich der Aula M und N. So konnte eine große zusammenhängende Fläche prospektiert werden, deren Ergebnis sich von denen der Geomagnetik unterscheidet. Von den elektrischen Leitungen ist hier nichts zu sehen, ebensowenig wie von dem in der Magnetik angesprochenen möglichen antiken Weg (vgl. Abb. 7). Dafür können zwei weitere große Anomalien deutlich erfasst werden. Die östliche Struktur scheint zu einem großen quadratischen (bzw. rechteckigen) Raum zu gehören, der nicht in seiner vollständigen Ausdehnung identifiziert werden konnte, da sich der östliche Teil außerhalb des untersuchten Areals befindet. Weiter im Westen ergibt sich ein spannender Befund. Die gemessenen Daten legen nahe, dass sich hier eine weitere Apsis mit Nischen befunden haben könnte; sie liegt nahezu auf einer Höhe mit der Apsis von Aula M. Auffällig ist, dass die südlich gelegenen, teilweise ausgegrabenen Gebäudestrukturen keine Mauerzüge aufweisen, die sich auf die Apsis beziehen könnten. So bleibt eine Interpretation als Apsidenbau möglich, ist jedoch bis auf weiteres nicht verifizierbar.

Georadar:

Mit dem Georadar war es aufgrund der Messmethode möglich, auch kleiner Areale zu untersuchen¹²³. So konnte nicht nur in den Bereichen der Aula M und N gemessen werden, sondern auch im Areal hinter der Apsis. Prospektiert wurde sowohl mit der 400 MHz Antenne (Abb. 4), als auch mit der 200 MHz Antenne (Abb. 5). Diese kleinen Gebiete konnten mit der Geomagnetik und Geoelektrik nicht untersucht werden (Abb. 10). Die Antenne darf während der Messung nicht angehoben werden, so konnten aufgrund der Topographie bzw. des Bewuchses oder der Altgrabungen manche Flächen nicht untersucht werden (vergleiche Abb. 7). Durch die doppelte Begehung des Areals konnten außerdem die Ergebnisse der beiden unterschiedlichen Frequenzmessungen gegenübergestellt werden (Abb. 11). Dabei zeigt sich, dass erwartungsgemäß die 400 MHz-Antenne, gerade in geringeren Eindringtiefen, eine bessere Auflösung erreicht. Dennoch sind verschiedene Anomalien auch bei der Prospektion mit der 200 MHz Antenne erkennbar. Damit nicht der Eindruck entsteht, dass die gemessenen Ergebnisse sich alle auf demselben Niveau befinden, wurde das am tiefsten liegende Feld separat ausgewertet (Abb. 10 und Abb. 12). Da sich in diesem Feld zudem die meisten Strukturen fassen lassen, soll dies gesondert besprochen werden. Eine Untersuchung im Bereich zwischen den beiden Apsiden konnte nicht durchgeführt werden, da wie erwähnt, dieser Abschnitt nur an einem Vormittag zugänglich war.

Die detektierten Anomalien zeichneten sich im Radargramm sehr schwach ab. Trotzdem können einige Strukturen gefasst werden, die zum Teil dieselbe Ausrichtung besitzen wie die bereits ergrabenen Gebäudeteile (Abb. 12, Tiefe von ca. 0,4 m). Die meisten Störungen scheinen jedoch eine andere Orientierung zu besitzen. Leider konnte keine Struktur, aufgrund der kleinteiligen Messfelder, vollständig gefasst werden. Die Anomalien mit gleicher Ausrichtung könnten mit den sichtbaren Strukturen im Zusammenhang stehen. Schwieriger ist es, die Anomalien, die einer anderen Orientierung unterliegen, mit den vorhandenen untersuchten Baubefunden in Einklang zu bringen. Sie könnten einer anderen Zeitstellung angehören, sofern sie überhaupt als Hinweise auf ältere Bauwerke zu verstehen sind.

¹²³ Bei der 200 MHz-Antenne beträgt der Abstand zwischen den Profilen 0,5 m, bei der Messung mit der 400 MHz-Antenne 0,3 m. Die unterschiedlichen Frequenzen haben Einfluss auf die Eindringtiefe des Georadars. Mit der 400 MHz Antenne ist eine Eindringtiefe bei sehr guten Bedingungen bis zu drei Metern möglich, bei der 200 MHz Antenne bis zu acht Metern. Im Radargramm der Untersuchungen lassen sich Anomalien bis zu 1,50 m Tiefe erkennen.

Am interessantesten erscheinen die Ergebnisse in dem tiefer liegenden Bereich einer Altgrabung (Abb. 13, Tiefe von ca. 0,7 m). Hier zeichnen sich gleich mehrere gut sichtbare Anomalien auf kleinstem Raum ab. Dies scheint verwunderlich, da dieser Bereich nahe dem Boden des *hypocaustum* liegt, wie die Öffnung zum *praefurnium* anzeigt (Abb.14). Aufgrund einer kleinen Sondage und der Existenz von baulichen Strukturen war es mit dieser Methode jedoch nicht möglich, die nähere Umgebung der Westwand der Aula M zu untersuchen. Ein direkter Anschluss an die bekannten Strukturen konnte demnach nicht erfasst werden. Einige dieser Anomalien lassen sich auf verschiedenen Höhenlayern fassen, so dass diese eine maximale Stärke von ca. 0,4 m aufweisen (Abb. 15, Tiefe von ca. 0,90 m). Da die Anomalien eine ähnliche Ausrichtung wie die sichtbaren Baubefunde aufweisen, könnten sie im Zusammenhang mit diesen gesehen werden. Demnach könnte es sich hier um Substruktionen handeln, die einen Geländeunterschied ausgleichen sollen. Eine Vorgängerbebauung lässt sich aufgrund der Ergebnisse jedoch nicht ausschließen.

Resultate:

Vergleicht man nun die Ergebnisse der unterschiedlich Prospektionsmethoden miteinander, stellt man fest, dass vor allem die Strukturen im Bereich des vermuteten *hypocaustum* sich in allen Methoden deutlich abzeichnen. Die lange Anomalie, die von Süden nach Norden läuft, zeichnet sich in allen Methoden am schärfsten ab; dies spricht für eine Mauer¹²⁴. Das Georadar liefert an dieser Stelle noch zusätzliche Informationen über die Stärke der Anomalie und ihre ungefähre Tiefe. Die Strukturen stehen entweder im baulichen Zusammenhang mit der Heizungsanlage oder können als Substruktionen für den Terrassenbau von Bedeutung gewesen sein. In den Feldern in Aula M sind in den Ergebnissen der Geoelektrik und in der Geomagnetik kaum Anomalien zu verzeichnen. Die einzige deutliche Störung ist mit der sichtbaren, bekannten Nord-Süd Mauer zu erklären (Abb.7). Die Anomalien im Bereich hinter der Apsis sind keiner eindeutigen Funktion zuzuordnen und beziehen sich nicht auf bekannte Neubefunde.

Die im Magnetogramm erfassten Strukturen im Bereich des Parks weisen auf weitere Gebäude ähnlicher bzw. gleicher Orientierung zu den bereits erforschten Baubefunden hin. Auch die

¹²⁴ Der hohe Widerstand spricht dafür. Wahrscheinlich ist sie zum großen Teil aus einem nicht magnetischen Baumaterial gefertigt.

Resultate der Geoelektrik legen eine Interpretation zu weiteren Gebäuden in diesem Areal nahe. Während der mögliche Apsidenbau (Abb. 9) die gleiche Ausrichtung besitzen würde wie die umliegenden Gebäude, scheint die im Osten liegende rechteckige Struktur eher einer anderen Systematik zu folgen. Weiterführende Untersuchungen könnten in diesem Bereich Aufschluss über die bauliche Gestaltung geben. Gerade im Hinblick darauf, dass die Prospektion mit dem Georadar in diesem Messareal gute Ergebnisse liefert, könnte die Methode die Ergebnisse der Geomagnetik bzw. der Geoelektrik ergänzen, vertiefen und verifizieren.



Abb. 1: Messgebiet an der Via Appia



Abb.2: Methodenbild Magnetik



Abb.3: Methodenbild: Elektrik



Abb.4: Methodenbild: Georadar 400 MHz Antenne



Abb.5: Methodenbild: Georadar 200 MHz Antenne



Abb.6: Magnetik: Interpretation, türkis-blau

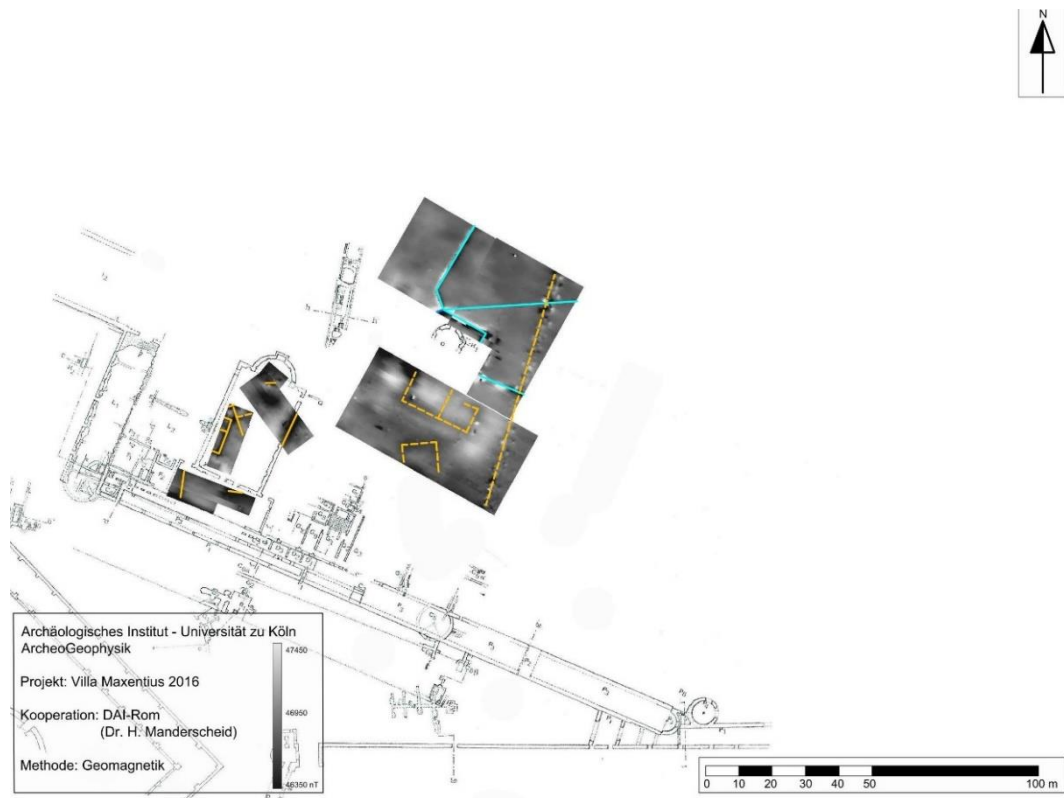


Abb.7: Magnetik: Interpretation auf der Basis des Grundrisses
Pisani Sartorio – Calza 1976, Taf. 46 türkis-blau



Abb. 8: Elektrik: Interpretation

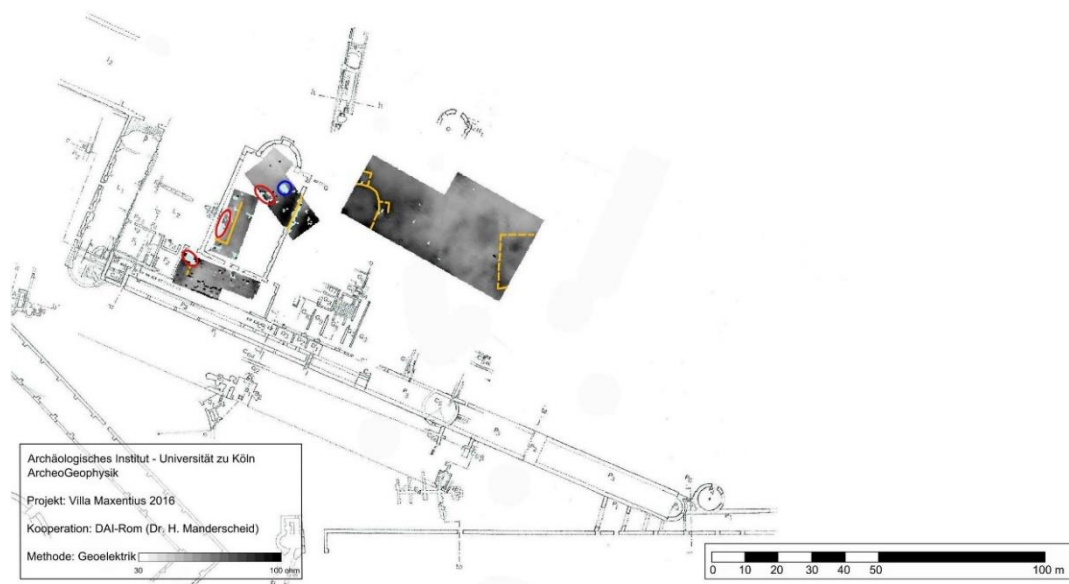


Abb.9: Elektrik: Interpretation



Abb.10: Radar 400 MHz: Interpretation

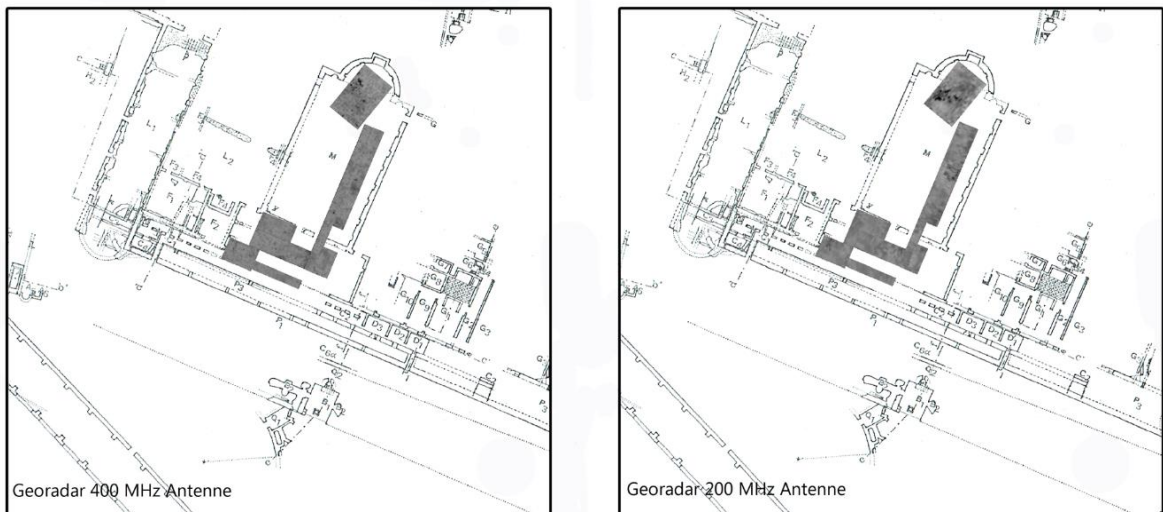


Abb.11: Vergleich Radar 200 und 400 MHz Antenne



Abb.12: Radar 400 MHz: Interpretation



Abb.13: Radar 400 MHz im Bereich des zu vermutenden *hypocaustum* 0,73m

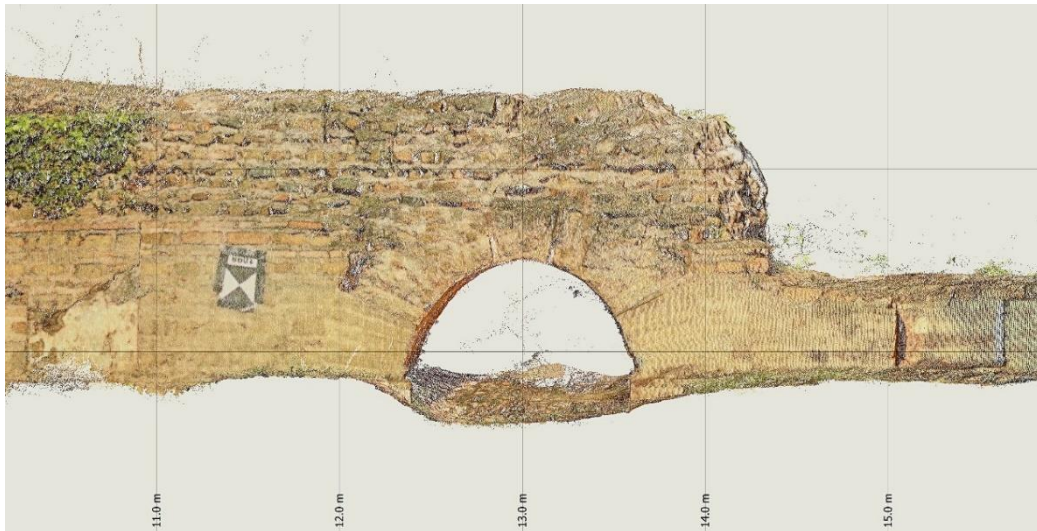


Abb.14: Aufnahme Bereich des zu vermutenden *hypocaustum* und *praefurnium*



Abb.15: Radar 400 MHz im Bereich des zu vermutenden *hypocaustum* 0,94 m

Bildnachweis

Abb. 1-13, 15: © Manuela Broisch-Höhner (Universität zu Köln);

Abb. 14: (Ausschnitt) © Sabrina Geiermann, Su concessione di Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali Parco dell' Appia Antica Museo delle Mura e Museo Della Villa di Massenzio.

Appendix 3:

Die dreidimensionale Vermessung und Auswertung von Teilen der Villa des Maxentius an der Via Appia in Rom

Sabrina Geiermann (Universität zu Köln) (nunmehr Technische Hochschule Köln)

Auftragsbeschreibung:

Im Rahmen eines Drittmittelprojektes an der TH Köln wurden Teile der römischen Maxentius-Villa an der Via Appia dreidimensional vermessen. Das Deutsche Archäologische Institut in Rom benötigte die genaue Verortung der noch bestehenden Baustrukturen der sog. Aula M im Residenztrakt der Villa.

Eingesetzte Technik:

Laserscanner:

Eingesetzt wurde der Imager 5010C der Fa. Zoller+Fröhlich (Abb.1). Dieses Instrument bietet beste Voraussetzungen für eine archäologische Dokumentation. Durch seine integrierte HDR Kamera wird ein fotorealistisches Einfärben der Punktwolken möglich.

Messverfahren:

Der Laserscanner arbeitet mit einem Phasendifferenzverfahren. Durch das kontinuierliche Aussenden des Laserlichtes wird die Phasenlage des reflektierenden Lichtes permanent bestimmt und durch die Aussendung in verschiedenen Frequenzen wird die Mehrdeutigkeit, gerade bei langen Strecken, verhindert. Die Vorteile dieses Aufnahmeverfahrens liegen in seiner Exaktheit und hohen Messgeschwindigkeit.

Aufnahme:

Um die Georeferenzierung der Scandaten durchzuführen, wurden im Vorfeld des Laserscannings fünf Messpunkte mittels GNSS-Messung bestimmt. Durch die bewaldete Lage der Befunde war eine targetlose Registrierung jedoch nicht möglich. Darüber hinaus wurden die schwarz-weißen Zielscheiben benötigt, um die Punktwolke mit dem übergeordneten Festpunktnetz zu verbinden. Die Verbindung der zwei Messmethoden erfolgte durch eine tachymetrische Aufnahme der Festpunkte und der Targets.

Das etwa 2860 m² große Areal ist mit 25 Scannerstandpunkten (Abb. 2) dreidimensional vermessen worden. Dabei wurden, wie Abb. 2 zeigt, Positionen bestimmt, die orthogonal auf die noch erhaltene Bausubstanz treffen. Diese Auswahl hat später eine genauere Darstellung

der Befunde in einem Orthophoto ermöglicht. Darüber hinaus wurden die Verläufe der bestehenden Grabungen dokumentiert. Um die einzelnen Standpunkte zu einer Punktwolke verbinden zu können, mussten zusätzlich zu den dokumentierenden Standpunkten Verbindungsscans erstellt werden. Für die Hauptscaans wurde nach dem Messverlauf die integrierte HDR-Kamera eingesetzt. Aus den Aufnahmen der 42 Einzelbilder, in bis zu 11 Belichtungsstufen, wurde ein Panorama aus etwa 80 Millionen Pixel generiert. Dieses wiederum ist in einem anschließenden Verfahren zur Einfärbung der Punktwolken verwendet worden. Für Verbindungsscans wird dieses Verfahren in der Regel nicht eingesetzt, in unserem Falle entschieden wir uns jedoch zwecks Visualisierung dafür. Nach jedem Messvorgang wurden am Scanner selbst die Verortung und die Verbindungen der Standpunkte geordnet und in einem Lageplan dargestellt.

Prozessierung:

Pre-Processing:

Nach der Vermessung vor Ort sind am Rechner durch eine Kettenprozessierung (Filterung, Colorierung, Targetfinder) die erhobenen Daten in Lasercontrol vorbereitet worden.

Die vom Hersteller vorgegebenen Filtereigenschaften wurden hauptsächlich eingesetzt. Damit werden Mixed Pixel, welche durch das Auftreffen des Lasers an Kanten oder durch Fehlmessungen, die durch die starke Sonneneinstrahlung entstehen, minimiert. Die Colorierung der Punktwolken geschieht mit Hilfe einer Kalibrierungsdatei in einem vollautomatisierten Prozess. Dabei wird der Punktwolke der entsprechende Farbwert zugewiesen und es entsteht ein fotorealistisches Abbild am Computer. Auch das Finden der Targets in den Standpunkten läuft in der Prozesskette ab. Als letzter Schritt der Vorbereitung zur Registrierung werden die übergeordneten Festpunkte aus der Tachymeterdatei eingeladen. Die Verbindungen zwischen den Standpunkten können im Lageplan noch ergänzt oder verändert werden. Damit sind die Vorbereitung und Vorregistrierung der Scandaten abgeschlossen.

Registrierung und Georeferenzierung:

Nach dem Pre-Processing in Lasercontrol wird die Registrierung bzw. Georeferenzierung im PlanetoPlane durchgeführt. Auch hier können die Arbeitsschritte als Prozesskette (Abb. 3) ablaufen. Wesentliche Grundlage der Ebenenregistrierung ist die Übereinstimmung von Flächen zwischen zwei Standpunkten. Dabei werden in einem ersten Schritt die Ebenen detektiert (Abb. 4) und in einem weiteren übereinstimmende Ebenen in den Standpunkten

gesucht. Im Anschluss an die Verknüpfung zwischen zwei Standpunkten geschieht die Georeferenzierung durch die Bündelausgleichung unter allen Standpunkten und den Festpunkten. Nun liegt eine georeferenzierte Punktwolke zur Weiterverarbeitung und Auswertung vor (Abb. 5).

Auswertung:

CAD-Plan:

Für das Projekt in Rom sollte ein Grundrissplan auf zwei verschiedenen Höhenlinien erstellt werden. Der Teil der Apsis wurde in 1 m Höhe und der Teil der südlich liegenden Grabungen in 0,6 m Höhe oberhalb der Bodenkante gezeichnet. Die Detailgenauigkeit lag beim Maßstab 1/50.

Für die Erstellung des CAD-Plans wurde die Punktwolke als Referenz in AutoCAD geladen und an den gewünschten Stellen geschnitten (Abb. 6). Die Generierung der Zeichnungen aus der Punktwolke erfolgte durch händisches Vektorisieren (Abb. 7).

Orthophoto:

Bei der Erstellung eines Orthophotos (Abb. 8) wird zunächst eine Referenzebene erstellt. Auf diese Ebene werden alle ausgewählten Punkte projiziert. Das Ergebnis ist ein maßstabsgetreues Bild der Punktwolke, in dem alle Maße abgreifbar sind.



Abb.1: zeigt den Laserscanner Imager 5010C im Gelände.

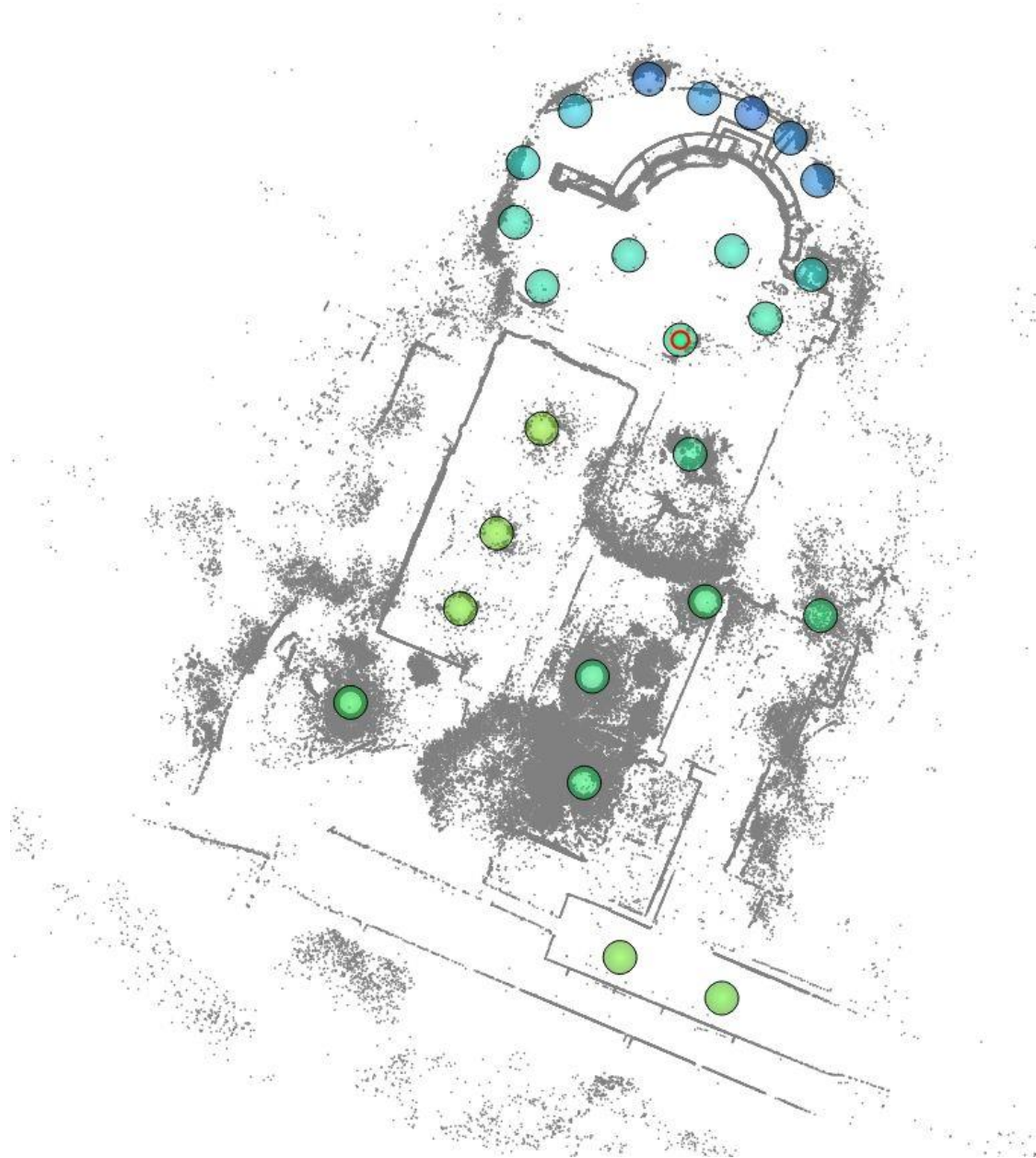


Abb.2: zeigt die Positionierungen der Standpunkte vor den Objekten.

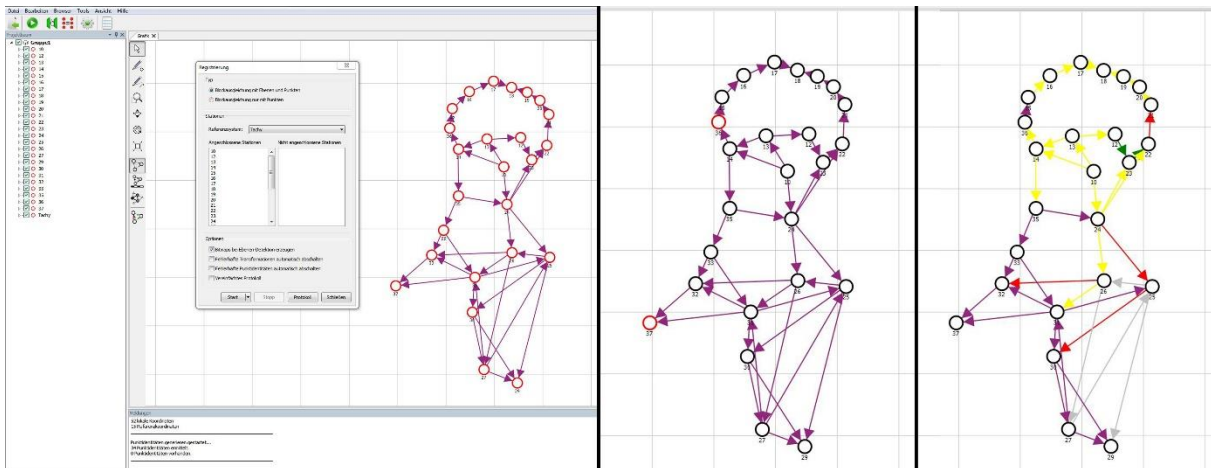


Abb.3: zeigt den Verlauf einer Prozesskette: Nach der Ebenendetektion werden die im ersten Teil der Abbildung rot markierten Standpunkte, schwarz dargestellt. Damit wird gezeigt, dass der erste Teil der Prozesskette für diesen Standpunkt abgeschlossen ist. Im dritten Teil der Abbildung werden die generierten Ebenen eines Standpunktes mit dem nächsten verglichen und verknüpft.



Abb. 4: In einem Panoramabild generiert aus den Einzelscans werden die gefundenen Ebenen rot markiert.

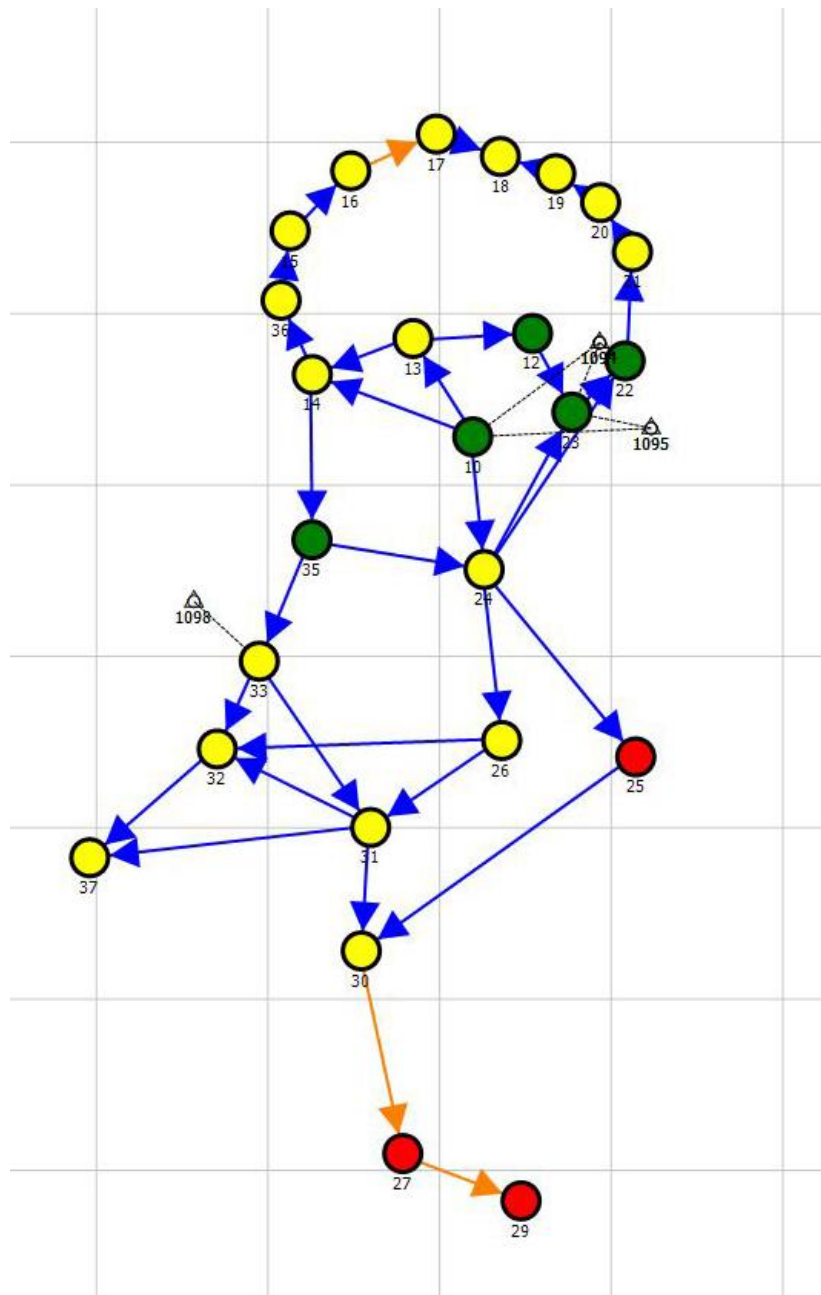


Abb.5: Nach Abschluss der Bündelausgleichung liegt eine georeferenzierte Gesamtpunktwolke vor. Die Ampelfarben der Darstellung symbolisieren die Genauigkeit abhängig von der Referenz, in diesem Fall des Festpunktnetzes.

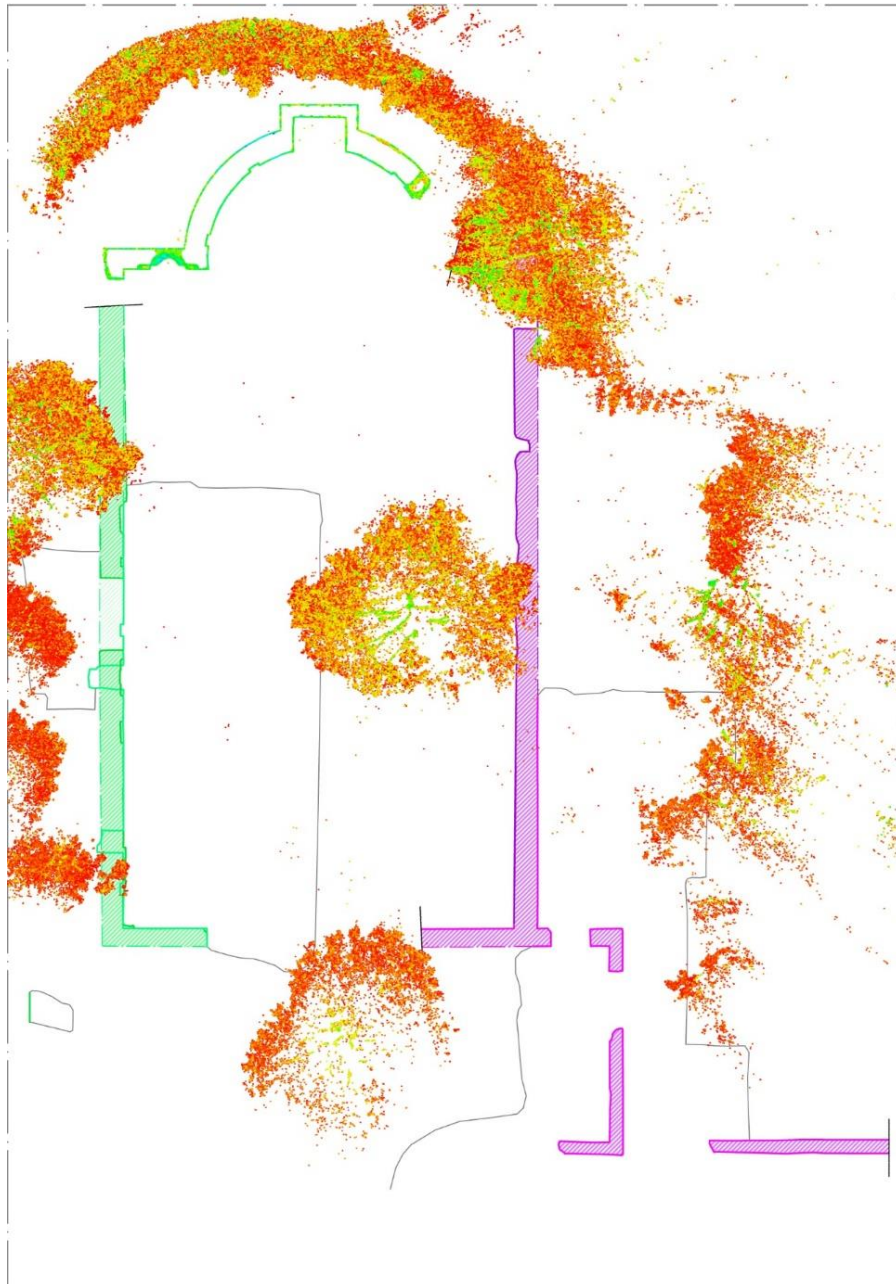


Abb. 6: Die Punktwolke hier in Intensitätswerten dargestellt wird als Referenz in AutoCAD eingeladen und dient als Grundlage der Vektorisierung.

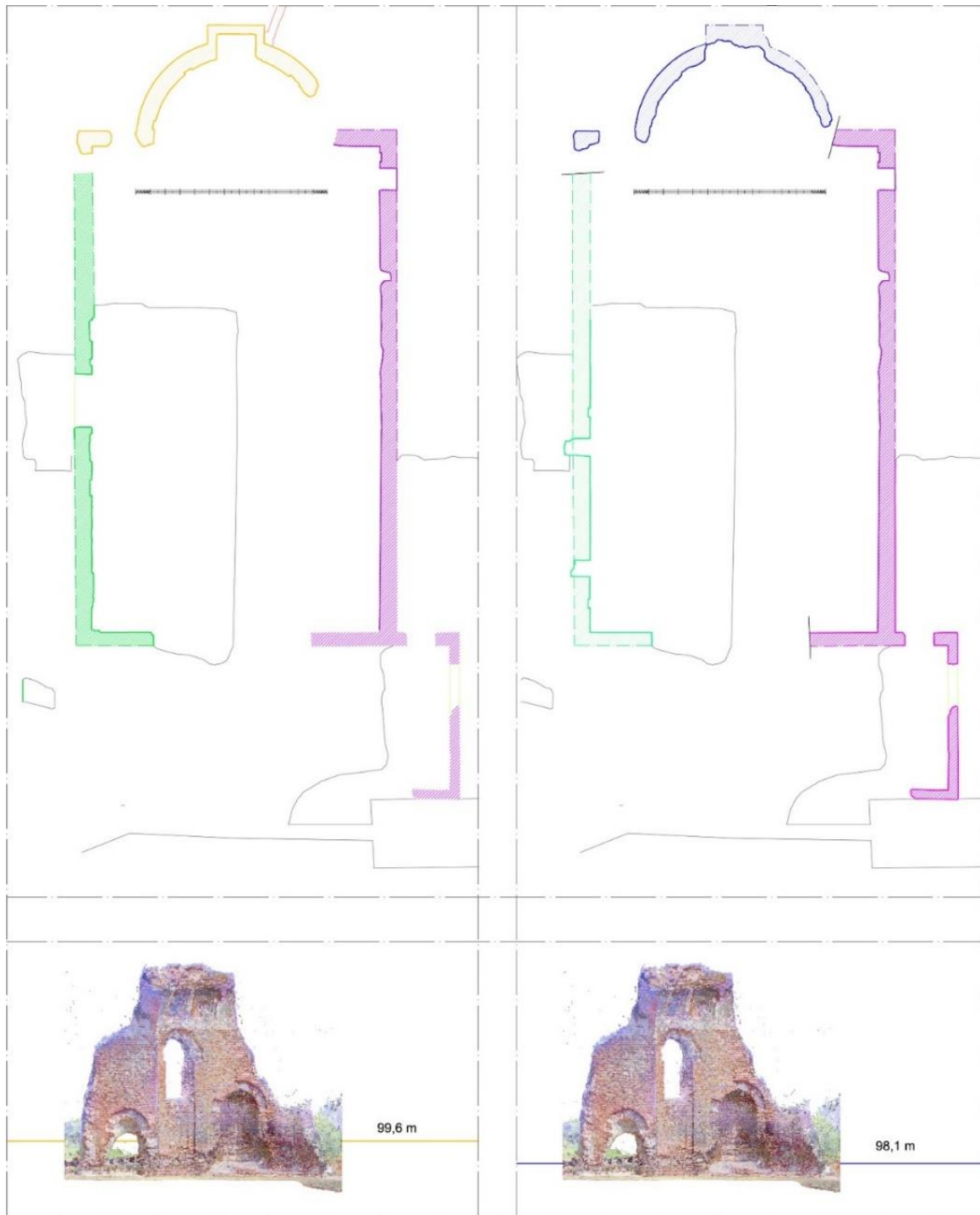


Abb. 7: zeigt die verschiedenen Schnittlinien kombiniert mit dem jeweiligen Orthophoto der Apsis.

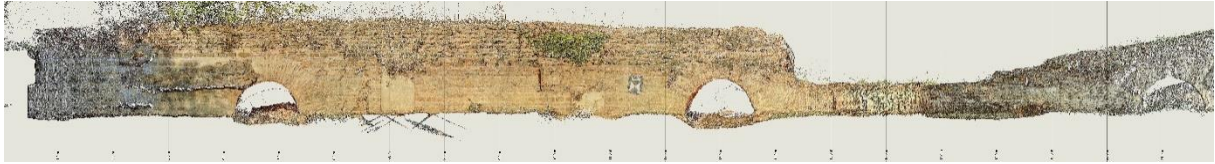


Abb. 8: Orthophoto einer Mauerabwicklung.

Abbildungsnachweis:

Abb. 1: © Sabrina Geiermann (Technische Hochschule Köln)

Abb. 2-7: Laserscans © Sabrina Geiermann (Technische Hochschule Köln)

Abb. 8: © Sabrina Geiermann (Technische Hochschule Köln) Su concessione di
Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali Parco dell' Appia Antica Museo delle
Mura e Museo Della Villa di Massenzio.

Appendix 7

Berechnung einer fiktiven Kühlung mit einem Verbindungsrohr und Lufteinlass durch Schächte aus den Bedienungsgängen in den aufgeständerten Boden

Ing. Klaus Pointner

Allgemein beeideter und gerichtlich
zertifizierter Sachverständiger
für Schornsteintechnik
Dr.-Walter-Waizer-Straße 14
A-6130 Schwaz / Tirol
AUSTRIA

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber:
Mag. Dr. Hannes Lehar
Universität Innsbruck
Institut f. Archäologien; Fachbereich Römische Archäologie
Langer Weg 11
6020 – Innsbruck

Betreff: Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach der europäischen Norm EN 13384-1 (2) (EN 13084-1 / DIN 4133 für freistehende Schornsteinanlagen)
Wir beziehen uns auf das vorliegende Bauvorhaben und halten fest, dass die vorliegende Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung nach dem derzeitigen Stand der Technik durchgeführt wurde.

Die Berechnung basiert auf den uns zur Verfügung gestellten technischen Daten.

Für Daten die wir nicht von Ihnen erhalten haben, wurden Erfahrungswerte nach dem Stand der Technik verwendet.

Nicht angegebene Werte die durch uns als Erfahrungswerte eingegeben wurden, können bei Änderung derselben das Ergebnis der Berechnung verändern.

Für Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

Ing. Klaus Pointner (SV)

Tel.Nr.: +43-(0)5242-63949

Fax.Nr.:+43-(0)5242-63949-75

E-Mail: k.pointner@pointner.org

Ing. Klaus Pointner

Allgemein beeideter und gerichtlich
zertifizierter Sachverständiger
für Schornsteintechnik
Dr.-Walter-Waizer-Straße 14
A-6130 Schwaz / Tirol
AUSTRIA

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber:
Mag. Dr. Hannes Lehar
Universität Innsbruck
Institut f. Archäologien; Fachbereich Römische Archäologie
Langer Weg 11
6020 – Innsbruck

Feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1

Datum 26.03.2018

Standort

Ebene bei Tivoli

Nachrechnung einer möglichen Fußbodenkühlung im Winterpalast des Kaisers Hadrian in Rom anhand der vorliegenden Ausgrabungen und der vorliegenden Skizzen.

Die Aufgabe besteht darin, nachzurechnen ob die Kühlung des Fußbodens durch nächtliche Frischluft (Zuluft zu einer Verbrennungsstelle) funktionieren kann;

Grundlage dieser Berechnung sind die bei den Ausgrabungen gefundenen Luftrohre und die Zuluftöffnungen aus den sog. Bedienungsgängen in den Doppelboden,

Ergebnis bei einer Kaminhöhe von min: 8,0 m:

Diese Berechnung zeigt, dass eine Funktion nur teilweise gegeben ist! Bei den angenommenen Werten für die Feuerstätte und den einen Zuluftkanal von IDM: 280 mm ergibt sich ein Verbrennungsluftbedarf von ca. 291 m³/h. Dies bedeutet bei einem Volumen im Zwischenboden 251 m³ einen Luftwechsel von ca. 1,16 x / Stunde. Ob dies für eine Kühlung des Bodens ausreicht, ist nicht von uns zu beurteilen.

Bei einer Kaminhöhe von 13,0 m verbessern sich die Ergebnisse geringfügig!

Bei einer Kaminhöhe von unter 8,0 m funktioniert das System nicht mehr!

Um eine größere Zuluftleistung zu erreichen, wäre es erforderlich, den Querschnitt der Zuluftrohre (Verbrennungsluft) zu vergrößern oder 2 oder 3 solche Rohre zu haben!

kesa-*aladin* 2.19.5 - 38789 Pointner Metallbau GmbH - Projekt Römische Heizung - Kühlung - Hadrian - 1 Seite 2 von 6

Feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1

Datum 26.03.2018

Konzeption der Anlage - Einfachbelegung

Berechnet nach EN 13384-1

Abgasanlage Häusliche Abgasanlage

Lage/Verlauf Außen am Gebäude

Luftversorgung Raumluftunabhängig

Luftzufuhr Dichter Kanal 2

Abschnitte Verbindungsstück: 1, Abgasanl.: 1

Mündung Offene Mündung Zeta = 0

Umgebung

Standort I-100 ROMA

Geodätische Höhe 20 m

Sicherheitszahl SE 1,5

Korrekturfaktor SH 0,5

Umgebungslufttemperaturen (Standardwerte)

An der Mündung 0 °C (Temperaturbedingung)

Im Freien 0 °C (Temperaturbedingung)

Im Kaltbereich 0 °C (Temperaturbedingung)

Im Warmbereich 20 °C (Temperaturbedingung)

Umgebungsluft 15 °C (Druckbedingung)

Feuerstätte

Kategorie Offener Kamin

Hersteller, Typ Offene Feuerstätte mit Holzkohle geheizt Römische Bauart - offenes Feuer

Brennstoff Holz
Feuerraumöffnung Einseitig offen
Form der Öffnung Rechteckig
Breite 90 cm
Höhe 90 cm
CO₂-Gehalt 1 %
Abgasmassenstrom 112,5 g/s
Normvolumenstrom 314,4 m³/h
Abgastemperatur 150 °C
Notwendiger Förderdruck 20 Pa
Abgasstutzen Quadratisch 600 mm
Luftbedarf (Faktor Beta) 0,86

Emissionswerte

Kohlenmonoxid (CO) K. A.
Staub K. A.
Wirkungsgrad K. A.

Aufstellraum

Kategorie Aufstellraum
Zuluft Fenster, Kanal vom Freien
Abluft Keine
Nutzungseinheit Bodenkühlung durch Verbrennungsluftzufuhr
Raumbezeichnung Raum im Hadrian Palast in Rom

Verbrennungsluftzufuhr - Dichter Kanal

Querschnitt Rund 280 mm (615,8 cm²)
Innenwandmaterial Schamotte Formteile
Mittlere Rauigkeit 1,5 mm
Wirksame Höhe 0 m
Gestreckte Länge 37 m
Widerstände Segmentbogen (3) 90 °
Lufteinlass Identisch mit Kanalquerschnitt
Luftauslass Identisch mit Kanalquerschnitt

kesa-**aladin** 2.19.5 - 38789 Pointner Metallbau GmbH - Projekt Römische Heizung - Kühlung - Hadrian - 1 Seite 3 von 6

Verbindungsstück - Bauart

Kategorie Verbindungsstück
Hersteller, Typ Altrömisch gemauert mit Ton mit Abmessung Kamin
Querschnitt Quadratisch 600 mm
Einzelschichten Material Dicke W-Leitfähigkeit
Schamotte Formteile 120 mm 1,2 W/mK
Mauerwerk hochfest 120 mm 0,96 W/mK
Putz ohne Träger 50 mm 0,87 W/mK
Mittlere Rauigkeit 1,5 mm
Produktklassifizierung T400 N1 D

Verbindungsstück - Abmessungen

Widerstände Keine
Wirksame Höhe 0,5 m
Gestreckte Länge 1,5 m
Länge im Freien 0 m
Länge im Kaltbereich 0 m
Länge im Warmbereich 1,5 m

Abgasanlage - Bauart

Kategorie Einschalige Abgasanlage
Hersteller, Typ Altrömische - Schamotteziegel + Außenmauerwerk
Querschnitt Quadratisch 600 mm
Einzelschichten Material Dicke W-Leitfähigkeit
Schamotte Formteile 120 mm 1,2 W/mK
Mauerwerk hochfest 120 mm 0,96 W/mK
Putz ohne Träger 50 mm 0,87 W/mK
Mittlere Rauigkeit 1,5 mm
Produktklassifizierung T400 N1 D

Abgasanlage - Abmessungen

Widerstände Keine
Wirksame Höhe 8 m
Gestreckte Länge 8 m

Abgasanlage - Verlauf (Außen am Gebäude)

Länge im Freien 8 m

Länge im Kaltbereich 0 m
Länge im Warmbereich 0 m
Gebäudekontakt Kein
Zusätzliche Dämmung
Im Freien Nein
Im Kaltbereich entfällt
Mündungswiderstand
Mündungswiderstand Offene Mündung
Zeta 0
Einmündung
Widerstand T-Stück 90 °

kesa-*aladin* 2.19.5 - 38789 Pointner Metallbau GmbH - Projekt Römische Heizung - Kühlung - Hadrian - 1 Seite 4
von 6

Appendix 8

Berechnung einer fiktiven Kühlung mit drei nur angenommenen Verbindungsrohren und Lufteinlassöffnungen in der Fassade direkt in den aufgeständerten Boden

Ing. Klaus Pointner

Allgemein beeideter und gerichtlich
zertifizierter Sachverständiger
für Schornsteintechnik
Dr.-Walter-Waizer-Straße 14
A-6130 Schwaz / Tirol
AUSTRIA

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber:
Mag. Dr. Hannes Lehar
Universität Innsbruck
Institut f. Archäologien; Fachbereich Römische Archäologie
Langer Weg 11
6020 – Innsbruck

Betreff: Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach der europäischen Norm EN 13384-1 (2) (EN 13084-1 / DIN 4133 für freistehende Schornsteinanlagen)
Wir beziehen uns auf das vorliegende Bauvorhaben und halten fest, dass die vorliegende Strömungsberechnung und feuerungstechnische Bemessung nach dem derzeitigen Stand der Technik durchgeführt wurde.

Die Berechnung basiert auf den uns zur Verfügung gestellten technischen Daten.

Für Daten die wir nicht von Ihnen erhalten haben, wurden Erfahrungswerte nach dem Stand der Technik verwendet.

Nicht angegebene Werte die durch uns als Erfahrungswerte eingegeben wurden, können bei Änderung derselben das Ergebnis der Berechnung verändern.

Für Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

Ing. Klaus Pointner (SV)

Tel.Nr.: +43-(0)5242-63949

Fax.Nr.:+43-(0)5242-63949-75

E-Mail: k.pointner@pointner.org

Ing. Klaus Pointner

Allgemein beeideter und gerichtlich
zertifizierter Sachverständiger
für Schornsteintechnik
Dr.-Walter-Waizer-Straße 14
A-6130 Schwaz / Tirol
AUSTRIA

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber:
Mag. Dr. Hannes Lehar
Universität Innsbruck
Institut f. Archäologien; Fachbereich Römische Archäologie
Langer Weg 11
6020 – Innsbruck

Feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1

Datum 26.03.2018

Standort

Ebene bei Tivoli

Nachrechnung einer möglichen Fußbodenkühlung im Winterpalast des Kaisers Hadrian in der Ebene von Tivoli anhand der vorliegenden Ausgrabungen und der vorliegenden Skizzen.

Die Aufgabe besteht darin, nachzurechnen ob die Kühlung des Fußbodens durch nächtliche Frischluft (Zuluft zu einer Verbrennungsstelle) funktionieren kann;

Grundlage dieser Berechnung sind drei, den bei den Ausgrabungen gefundenen ähnliche, Luftrohre und Zuluftöffnungen seitlich in den Doppelboden,

Ergebnis bei einer Kaminhöhe von min: 12,0 m

Diese Berechnung zeigt, dass eine Funktion nur teilweise gegeben ist! Bei den angenommenen Werten für die Feuerstätte und die Zuluftkanäle von 3 Stk. IDM: 280 mm ergibt sich ein Verbrennungsluftbedarf von ca. 1.170 m³/h.

Dies bedeutet bei einem Volumen im Zwischenboden 251 m³ einen Luftwechsel von ca. 4,6 x / Stunde. Ob dies für eine Kühlung des Bodens ausreicht, ist nicht von uns zu beurteilen.

Aufgrund des größeren Feuers steigt die Abgastemperatur am Kamineintritt von +80°C auf ca. 130°C.

Bei dieser Konstellation ist eine Kaminhöhe von 12,0 m mindestens erforderlich um die Funktion aufrecht zu erhalten

Bei einer Kaminhöhe von weniger als 12,0 m funktioniert die Anlage nicht mehr.

Zur Zusatzinformation:

Die größere Feuerraumsöffnung habe ich gewählt um eine größere Feuerstelle (Feuerungsleistung) in der Berechnung zu haben. Dieser Wert hat aber keinen Einfluss auf das Ergebnis, da für die Verbrennungsluftzufuhr 3 Stk. Rohre mit je IDM: 280 mm in der Berechnung berücksichtigt sind.

kesa-**aladin** 2.19.5 - 38789 Pointner Metallbau GmbH - Projekt Römische Heizung - Kühlung - Hadrian - 1 -S 3e
.it.e. 2 von 6

Feuerungstechnische Bemessung von Abgasanlagen nach EN 13384-1

Datum 26.03.2018

Konzeption der Anlage - Einfachbelegung

Berechnet nach EN 13384-1

Abgasanlage Häusliche Abgasanlage

Lage/Verlauf Außen am Gebäude

Luftversorgung Raumluftunabhängig

Luftzufuhr Dichter Kanal 2

Abschnitte Verbindungsstück: 1, Abgasanl.: 1

Mündung Offene Mündung Zeta = 0

Umgebung

Standort Ebene von Tivoli

Geodätische Höhe 20 m

Sicherheitszahl SE 1,5

Korrekturfaktor SH 0,5

Umgebungslufttemperaturen (Standardwerte)

An der Mündung 0 °C (Temperaturbedingung)

Im Freien 0 °C (Temperaturbedingung)

Im Kaltbereich 0 °C (Temperaturbedingung)

Im Warmbereich 20 °C (Temperaturbedingung)

Umgebungsluft 15 °C (Druckbedingung)

Feuerstätte

Kategorie Offener Kamin

Hersteller, Typ Offene Feuerstätte mit Holzkohle geheizt Römische Bauart - offenes Feuer

Brennstoff Holz

Feuerraumöffnung Einseitig offen

Form der Öffnung Rechteckig

Breite 180 cm

Höhe 180 cm

CO₂-Gehalt 1 %

Abgasmassenstrom 450 g/s

Normvolumenstrom 1257,5 m³/h

Abgastemperatur 130 °C

Notwendiger Förderdruck 20 Pa

Abgasstutzen Quadratisch 600 mm

Luftbedarf (Faktor Beta) 0,86

Emissionswerte

Kohlenmonoxid (CO) K. A.

Staub K. A.

Wirkungsgrad K. A.

Aufstellraum

Kategorie Aufstellraum

Zuluft Fenster, Kanal vom Freien

Abluft Keine

Nutzungseinheit Bodenkühlung durch Verbrennungsluftzufuhr

Raumbezeichnung Raum im Hadrian Palast in Rom

Verbrennungsluftzufuhr - Dichter Kanal

Querschnitt 3 x Rund 280 mm (1847,3 cm²)

Innenwandmaterial Schamotte Formteile

Mittlere Rauigkeit 1,5 mm

Wirksame Höhe 0 m

Gestreckte Länge 37 m

Widerstände Segmentbogen (3) 90 °

Luftreinlass Identisch mit Kanalquerschnitt

Luftauslass Identisch mit Kanalquerschnitt

kesa-*aladin* 2.19.5 - 38789 Pointner Metallbau GmbH - Projekt Römische Heizung - Kühlung - Hadrian - 1 -S 3e
.it.e. 3 von 6

Verbindungsstück - Bauart

Kategorie Verbindungsstück

Hersteller, Typ Altrömisch gemauert mit Ton mit Abmessung Kamin

Querschnitt Quadratisch 600 mm

Einzelschichten Material Dicke W-Leitfähigkeit

Schamotte Formteile 120 mm 1,2 W/mK

Mauerwerk hochfest 120 mm 0,96 W/mK

Putz ohne Träger 50 mm 0,87 W/mK

Mittlere Rauigkeit 1,5 mm

Produktklassifizierung T400 N1 D

Verbindungsstück - Abmessungen

Widerstände Keine

Wirksame Höhe 0,5 m

Gestreckte Länge 1,5 m

Länge im Freien 0 m

Länge im Kaltbereich 0 m

Länge im Warmbereich 1,5 m

Abgasanlage - Bauart

Kategorie Einschalige Abgasanlage

Hersteller, Typ Altrömische - Schamotteziegel + Außenmauerwerk

Querschnitt Quadratisch 600 mm

Einzelschichten Material Dicke W-Leitfähigkeit

Schamotte Formteile 120 mm 1,2 W/mK

Mauerwerk hochfest 120 mm 0,96 W/mK

Putz ohne Träger 50 mm 0,87 W/mK

Mittlere Rauigkeit 1,5 mm

Produktklassifizierung T400 N1 D

Abgasanlage - Abmessungen

Widerstände Keine
Wirksame Höhe 12 m
Gestreckte Länge 12 m
Abgasanlage - Verlauf (Außen am Gebäude)
Länge im Freien 12 m
Länge im Kaltbereich 0 m
Länge im Warmbereich 0 m
Gebäudekontakt Kein
Zusätzliche Dämmung
Im Freien Nein
Im Kaltbereich entfällt
Mündungswiderstand
Mündungswiderstand Offene Mündung
Zeta 0
Einmündung
Widerstand T-Stück 90 °

kesa-*aladin* 2.19.5 - 38789 Pointner Metallbau GmbH - Projekt Römische Heizung - Kühlung - Hadrian - 1 -S 3e
.it.e. 4 von 6

Appendix 9:

stark vereinfachte, überschlägige Berechnung des Wärmeflusses von Raum 2 u. 3 in das angenommene Hypokaust unter Verwendung eines Programms zur Heizlastberechnung (Hannes Lehar).

Ö N O R M M 7 5 0 0 - Heizlast Seite: 1

Projektdatei:Hadriana

Heizlastberechnung
*** nach ÖNORM M7500 ***

Projektbearbeitung: HL
Überschlägige Berechnung der Kühlleistung für Raum
2 u. 3

Projektbeschreibung: Villa Hadriana Winterpalast

22.4.2018

Gebäudekenngrößen

Grundrißtyp I (Einzelhaus)-Geschoßtyp-windschwache Gegend-freie Lage

Norm-Außentemperatur: -5 (C)
Norm-Erdtemperatur: 4 (C)
Windgeschwindigkeit: 4 (m/s)
Gebäudehöhe: 10.00 (m)
Tiefe Grundwasser: 10.00 (m)

Ö N O R M - M 7 5 0 0 - k-Werte

Projektdatei:hadriana

1.Suspensura	Dicke (mm)	Lambda (W/mK)	Dämmwert (m2K/W)	Ti= 28
1.Keramikplatten	50	0.760	0.066	26.9
2.opus caementitium	250	1.500	0.167	26.4
			Ra= 0.130	25.1
k-Wert= 2.03 (W/m2K)	gesamt: 300		0.492	Ta= 24

Projektdatei:Hadriana

Raumnummer: 2 Raumbezeichnung: Palast Raum 2 u.3
 Geschößbezeichnung:3

Norminnentemperatur: 28 C Normaussentemperatur: -5 C
 Raumvolumen(36.00x10.00x 9.00): 3240.0 m3 Höhe über Erdboden: 0.00 m
 Kalte Außenflächen: 1 Höhenkorrekturfaktor eSA: 1.0
 Zustromtemperatur Umgebungsluft: --- C Höhenkorrekturfaktor eSN: 0.0
 Abluftüberschuß: -----m3/sHöhenkorrekturfaktor eGA: 1.0

KZ	Az	b	l(h)	Abzug	Fläche	k/k1	dt	wFsF	a	ff1	P0(W)
		m	m	m2	m2	W/m2K	K	Fugl	wf	ff2	PF(W)
DE	1	36.00	10.00	0.0	360.0	2.03	3				2192

Wärmeverlustkoeffizient	wr=	0.040	
Zuschlagsheizlast für den Raum	PR=	4277	W
Zuschlagsheizlast Fenster/Türen	PF=	0	W
Zuschlagsheizlast	PZ=	4277	W
Transmissionswärmeverlust	P0=	2192	W
spezifischer Wärmebedarf pro m2	PN/m2=	18	W
spezifischer Wärmebedarf pro m3	PN/m3=	2	W
Norm Heizlast	PN=	6470	W

Die Norm Heizlast von 6470 W entspricht in diesem Fall dem Wärmefluss von Raum 2 u. 3 (ti = 28°C) in das Hypokaust (ti = 25°C).