Zeitschrift: Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst

Herausgeber: Augusta Raurica

Band: 22 (2001)

Artikel: Dreidimensionale Prospektion mit Hilfe von Bodenradar (GPR) in Augusta Raurica (insulae 34, 35, 36, 40, 41 und 42)

Autor: Leckebusch, Jürg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-395635

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dreidimensionale Prospektion mit Hilfe von Bodenradar (GPR) in Augusta Raurica (*insulae* 34, 35, 36, 40, 41 und 42)

Jürg Leckebusch

Zusammenfassung

Beim Bodenradar handelt es sich um eine der modernsten geophysikalischen Prospektionsmethoden. Sie erlaubt es, ohne Ausgrabung und Zerstörung dreidimensionale Strukturen des Untergrundes zu erfassen. Eine für diese Methode grosse Fläche von knapp einer Hektare wurde detailliert ausgemessen. Es konnte gezeigt werden, dass sich der Bodenradar auch für Flächen dieser Dimensionen eignet. Nach einer aufwändigen Verarbeitung der rund 3 Gigabyte Rohdaten liessen sich die Messwerte erstmals dreidimensional visualisieren. Für die Interpretation konnten zudem Daten der Magnetik und Elektrik sowie entzerrte Luftbilder beigezogen werden. Der Bodenradar liefert eine sehr hohe Dichte an Informationen, die sich mit Grabungsresultaten vergleichen lässt, konnten doch so insgesamt drei Bauphasen unterschieden und unter anderem verschiedene Säulenfundamente und eine aus einzelnen Teilen bestehende Wasserleitung abgebildet werden. Vergleiche zwischen den Resultaten der geophysikalischen Messungen und anschliessenden Grabungsresultaten bestätigen die hohe Auflösung der Methode, die bei diesem Beispiel rund 5 cm beträgt. Mit Hilfe der geophysikalischen Prospektion lässt sich die Geometrie archäologischer Strukturen erkennen. Informationen zur Fundverteilung, Chronologie und genauen Raumfunktion lassen sich hingegen nicht gewinnen und sind nach wie vor nur über eine Ausgrabung zu erlangen.

Schlüsselwörter

Augst/BL, Bauphasen, Bodenradar, Datenverarbeitung, dreidimensional, Elektrik, Entzerrung, Geophysik, GPR, Luftbild, Magnetik, «Palazzo», Prospektion, Visualisierung.

Einleitung

Unter den verschiedenen, in der Archäologie angewendeten Prospektionsmethoden handelt es sich beim Bodenradar um eine der modernsten. Die Methode stellt gleichzeitig jedoch hohe Ansprüche an die Elektronik, so dass erst seit Ende der 1980er Jahre entsprechende digitale Geräte zur Verfügung stehen. Die Datenverarbeitung ist ebenfalls sehr komplex. Zudem kann im Verlaufe eines Tages im Feld schnell ein Gigabyte an Rohdaten anfallen. Auch moderne Computer brauchen eine ganze Weile, um solche Datenmengen durchzuarbeiten. Der Bodenradar wird zwar bereits in der Archäologie eingesetzt, meist werden wegen der beschriebenen Probleme jedoch nur relativ kleine Flächen gemessen; vor mehreren tausend Quadratmeter grossen Flächen ist man immer wieder etwas zurückgeschreckt. Im Rahmen einer Dissertation sollten daher Verfahren erarbeitet werden, die es erlauben, auch sehr grosse Flächen zu prospektieren[1]. Der Bodenradar ist besonders interessant für die Archäologie, da er dreidimensionale Informationen liefert.

Eine effiziente Prospektion wird zu einem immer wichtigeren Instrument der archäologischen Dienststellen. Während die Kosten für Ausgrabungen mit feiner werdender Methodik zunehmen, sind die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel vielerorts immer geringer. In dieser Zwangslage ist es wichtig, die vorhandenen Gelder effizient einzusetzen. Vorgängig vorhandene Informationen, wie sie mit Hilfe der Prospektion geliefert werden, stellen dazu eine grundlegende Basis dar. Neben anderen Methoden ist die Geophysik ein Mittel, ohne Ausgrabung und Zerstörung Informationen über den Untergrund zu gewinnen.

Für die im Folgenden vorgestellten Resultate der Forschungsarbeit im Rahmen der Dissertation des Autors wurde eine rund 10 000 m² grosse, unüberbaute Fläche der Augster Oberstadt ausgewählt[2]. Sie liegt im Bereich der *insulae* 34, 35, 36, 40, 41 und 42 (Abb. 1). Die Fläche überdeckt teilweise den bereits in den sechziger Jahren ausgegrabenen Teil des so genannten «Palazzo»[3]. Dadurch ergibt sich eine gute Möglichkeit, die Resultate des *Bodenradars* zu überprüfen. Neben dem Bodenradar wurden auch Messungen mit der Elektrik (Messung des *Bodenwiderstandes*) und der Magnetik (Messung des *Magnetfeldes* der Erde) durchgeführt. Als weitere Informationsquelle standen qualitativ sehr hochstehende *Luftbilder* zur Verfügung.

1 J. Leckebusch, Die Anwendung des Bodenradars (GPR) in der archäologischen Prospektion. 3D-Visualisierung und Interpretation. Internationale Archäologie. Naturwissenschaft und Technologie (Rahden/Westf., in Vorbereitung).

2 Die Messungen waren nur dank der grosszügigen Unterstützung vor Ort möglich. Besonders danken möchte ich Peter-A. Schwarz und Hans Sütterlin, die dieses Projekt erst ermöglichten. Die Messgeräte sowie die nötige Infrastruktur wurden von der Kantonsarchäologie Zürich zur Verfügung gestellt. Grabungsnummer 1996.68.

3 T. Tomasevic-Buck, Ausgrabungen in Augst und Kaiseraugst im Jahre 1978. Jahresber. Augst u. Kaiseraugst 4, 1984, 7–54 bes. 30 f. Plan 6 Abb. 31 f.; D. Schmid, Die römischen Mosaiken aus Augst und Kaiseraugst. Forsch. Augst 17 (Augst 1983) 113 ff. Abb. 52–72.

Abb. 1: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Lage der Messfläche in der Augster Oberstadt, im Bereich der insulae 34–36 und 40–42. M. 1:10000.*

Bodenradar

Wie der Name bereits andeutet, verwendet diese Messmethode Radarwellen, um den Untergrund zu erkunden[4]. Von der Oberfläche aus werden mit einer Antenne elektromagnetische Wellen in den Untergrund geschickt. Treffen diese auf eine Schichtgrenze, so wird jeweils ein Teil der Energie wieder an die Oberfläche reflektiert und ein anderer Teil dringt weiter in den Boden ein. Eine Antenne registriert die zurückkommenden Signale, normalerweise in digitaler Form. Die aufgezeichnete Zeit, die eine elektromagnetische Welle für den zurückgelegten Weg braucht, ist ein Mass für die Tiefe der reflektierenden Schicht. Je nach Untergrund ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit unterschiedlich und muss für jede Messfläche neu bestimmt werden. Auf Grund der zeitlichen Differenzierung einzelner Reflektoren in unterschiedlichen Tiefen liefert der Bodenradar dreidimensionale Informationen des Untergrundes. Die Messungen müssen jedoch in einem ausreichend dichten Raster durchgeführt werden.

Die Wellen werden im Untergrund stark gedämpft, so dass die maximale Tiefe, bis in welche sich Strukturen erfassen lassen, begrenzt ist. Dies kann sogar dazu führen, dass die Wellen nicht in den Boden eindringen können und daher eine Anwendung des Bodenradars verunmöglicht wird. Dieses bekannte Phänomen tritt bei einer hohen Bodenfeuchtigkeit und/oder einem hohen Lehmgehalt auf.

Ein weiteres Problem stellen die geometrischen Verzerrungen der in den Daten abgebildeten Strukturen dar. Auf Grund des relativ grossen Winkels, in dem die Antennen das Signal ausschicken, werden auch Reflektoren erfasst, die nicht direkt unter dem Messpunkt liegen. Objekte werden daher als so genannte Hyperbeln dargestellt, die typisch sind für Radarprofile. Die Verzerrungen lassen sich jedoch mit der Datenverarbeitung weitgehend korrigieren (als Migration bezeichnet). Gleichzeitig wird auch die Auflösung verbessert. Da die Archäologen meist an möglichst

4 Für weitere Erklärungen zur Methode siehe zum Beispiel L. B. Conyers/D. Goodman, Ground-penetrating radar. An introduction for archaeologists (Walnut Creek 1997) und J. Leckebusch/A. Green, Georadar. In: L. Ellis (Hrsg.), Archaeological method and theory: An encyclopedia (New York 2000) 251–258 oder Leckebusch (Anm. 1).

Abb. 2: In der Kantonsarchäologie Zürich aufgebautes Raupenfahrzeug für die effiziente und gleichzeitige Messung mit der Elektrik (die Eisenräder mit Spitzen dienen als Elektroden) und dem Bodenradar (die Antenne wird an der kurzen Stange hinten am Fahrzeug befestigt).

genauen Dimensionsangaben interessiert sind, ist dieser Verarbeitungsschritt sehr wichtig[5].

Die Auflösung hängt im Wesentlichen von der Länge der ausgesandten Wellen und damit von der verwendeten Antennenfrequenz ab. Je höher letztere ist, desto besser ist auch die Auflösung. Gleichzeitig nimmt die Dämpfung des Signals jedoch zu, und die Eindringtiefe wird folglich reduziert. Man muss daher bei jeder Messung zwischen der Auflösung und der Eindringtiefe jeweils abwägen. In der Archäologie wird oft eine Antenne mit einer Frequenz von 500 MHz eingesetzt, da man mit einer solchen Tiefen von 2–3 m und eine Auflösung von etwa 5 cm erreicht.

Wie bereits angetönt, muss auch der Abstand der einzelnen Messpunkte in der Horizontalen der allgemeinen Auflösung angepasst sein, wenn man verlässliche Informationen aus den Daten ablesen will. Eine einzelne Messung erfolgt sehr schnell. Zieht man daher eine Antenne über den Boden, so lässt sich alle 1–2 cm eine vertikale Spur registrieren. Will man detaillierte Strukturen abbilden, so darf der Abstand zwischen einzelnen Linien nicht zu gross sein. Bei einer 500-MHz-Antenne zum Beispiel ist ein Abstand von 50 cm bereits die obere Grenze. Wägt man den Aufwand und die Auflösung gegeneinander ab, so wird man meist einen Abstand von 25 cm verwenden. Werden diese physikalischen Gesetzmässigkeiten nicht beachtet, so erscheinen die Daten unscharf[6].

Testmessungen haben gezeigt, dass die Signale durch Reflektoren im Untergrund zum Teil so stark reduziert werden, dass darunter liegende Objekte nicht mehr erfasst werden können, weil die Stärke der zurückkommenden Wellen zu schwach ist[7]. Diese Tatsache wird bei der Interpretation der Daten oft ausser Acht gelassen. Die Reduktion der Signale spielt jedoch in der Archäologie eine wichtige Rolle, wie an diesem Beispiel gezeigt werden wird.

Der Bodenradar erfasst primär die Geometrie der im Untergrund vorhandenen Schichtgrenzen. Daher können klare Aussagen nur über die Geometrie der erhaltenen Strukturen gemacht werden. Bis heute ist es nicht möglich, Angaben über die unterschiedlichen Materialien zu machen.

Messungen

Die gesamte Fläche (Abb. 7) wurde in einem Profilabstand von 20 cm gemessen – eine Dichte, die bis jetzt auf solch grossen Flächen nirgends angewandt wurde. Damit der zeitliche Aufwand trotzdem möglichst klein war, wurde ein kleines Raupenfahrzeug eingesetzt, auf den die gesamte Radaranlage aufgebaut war (Abb. 2). Dieses System wurde an der Kantonsarchäologie Zürich entwickelt und erlaubte es, die Datenaufnahme in einem Zeitraum von vier Tagen durchzuführen. Der Aufbau des «Dumpers» oder Raupenfahrzeugs erlaubt gleichzeitig sowohl Bodenradar- wie auch Elektrikmessungen. Das heisst, dass sich im gleichen Arbeitsgang auch der Bodenwiderstand kartieren liess. In einem zweiten Schritt jedoch mussten die Magnetikdaten erfasst werden (Abb. 5). Um eine hohe Auflösung zu haben, wurde ein Caesium-Magnetometer in einer Gradiometer-Konfiguration eingesetzt. Damit lassen sich Unterschiede des Erdmagnetfeldes in der Grössenordnung von 0,03 nT/m oder weniger als einem Millionstel des gesamten Feldes bestimmen. Damit diese Auflösung genutzt werden kann, wurde das Messgerät auf einen unmagnetischen Wagen gebaut und dieser über die Messfläche gestossen.

5 J. Leckebusch, Bodenradar im Chor der Predigerkirche. In: D. Wild (Hrsg.), Das Predigerkloster in Zürich. Ein Beitrag zur Architektur der Bettelorden im 13. Jahrhundert. Zürcher Denkmalpflege/Stadt Zürich Monographien (Zürich 1999) 93–97; J. Leckebusch, Resolving discrepancies between interpretations of georadar data and reality. 30th International Symposium on Archaeometry, Urbana, Illinois, 1996, 64–65; J. Leckebusch, Two- and three-dimensional georadar surveys across a medieval choir: A case study in archaeology. Archaeological Prospection 7/3, 2000, 189–200.

6 Ein Beispiel dazu findet sich in Y. Nishimura/D. Goodman, Ground-penetrating radar survey at Wroxeter. Archaeological Prospection 7/2, 2000, 101–105.

7 J. Leckebusch, Investigating the true resolution of GPR data in archaeological surveys: Measurements in a sandbox. 2nd International Conference on Archaeological Prospection, Ise, Japan, 1997, 11; J. Leckebusch, Investigating the true resolution and three-dimensional capabilities of ground-penetrating radar data in archaeological surveys: Measurements in a sand box. Archaeological Prospection 8/1, 2001, 29–40.

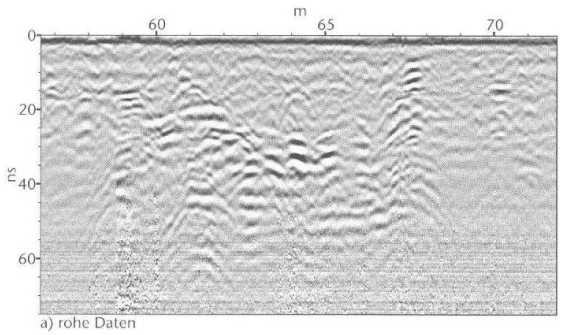
Datenverarbeitung

Im Zeitraum von vier Messtagen fielen rund 3 GB an Rohdaten des *Bodenradars* an (Abb. 3,a). Diese mussten nun eingehend verarbeitet werden. Dazu gehören folgende Schritte: Beseitigung des Hintergrundrauschens, Elimination von Störungen im Signal (Spitzen und erhöhter Rauschpegel) und ein Distanzausgleich. Bei Letzterem wird dafür gesorgt, dass der Abstand zwischen zwei Spuren entlang eines Profils immer genau gleich ist, in diesem Falle 2,5 cm. Dieser Verarbeitungsschritt, der übrigens speziell für die Messungen erarbeitet wurde, ist sehr rechen- und zeitaufwendig, da – nach einer ersten Korrektur – nebeneinander liegende Profile jeweils miteinander verglichen und eine entsprechende Korrektur bestimmt werden muss. Dieser Vorgang wurde in diesem Falle vier Mal wiederholt, um ein optimales Resultat zu erhalten. Nun kann die Geometrie der Profile mit Hilfe einer Migration korrigiert werden. Dabei ist es wichtig, dass die Daten nicht nur entlang der Profile, sondern auch quer dazu miteinbezogen werden, also eine dreidimensionale Migration durchgeführt wird. Nach einer anschliessenden Umwandlung der Zeit- in eine Tiefenachse stehen die Daten im Wesentlichen für die Interpretation bereit (Abb. 3,c).

Die *Widerstandsdaten* brauchen, im Gegensatz zu den Bodenradardaten, am wenigsten Datenverarbeitung. Nach einer Elimination der Störungen durch schlechten Bodenkontakt musste nur noch die Distanz zwischen zwei Messwerten auf lineare Weise ausgeglichen werden (Abb. 4).

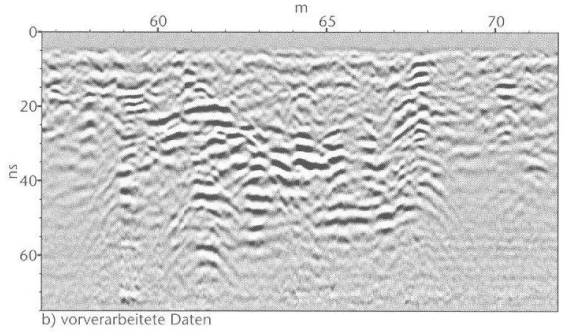
Auch bei den *Magnetikdaten* erfolgt ein Distanzausgleich. Hier sind aber noch weitere Korrekturen nötig, die einerseits die konstanten Störungen der Elektronik und andererseits Verschiebungen entlang der Profile berücksichtigen (Abb. 5).

Um für die Interpretation eine möglichst breite Daten- und Informationsbasis zu haben, wurden auch die besten drei *Luftbilder* des untersuchten Gebietes entzerrt. Mit Hilfe der Vier-Punkt-Methode des Entzerrungsprogramms «AirPhoto» konnten entsprechende Orthofotos erstellt werden (Abb. 6)[8].



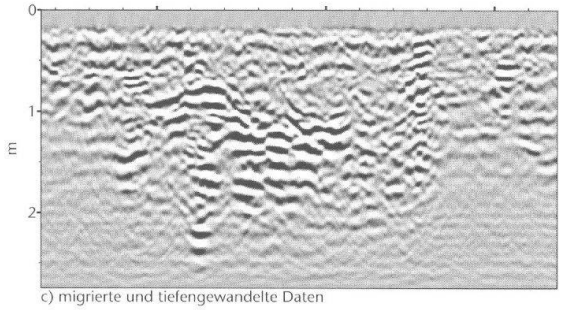
a) rohe Daten

Abb. 3a



b) vorverarbeitete Daten

Abb. 3b



c) migrierte und tiefengewandelte Daten

Abb. 3c

Abb. 3: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Datenverarbeitung am Beispiel eines Profilausschnitts: a) rohe Daten, b) vorverarbeitet und c) migriert und tiefengewandelt. Erst nach dem letzten Verarbeitungsschritt können die genauen Masse der abgebildeten Strukturen abgelesen werden. Überhöhte Darstellung.*

Interpretation

Bis heute werden die *Bodenradardaten* immer in Form von einzelnen Profilen (Abb. 3) oder von so genannten Flächenplänen dargestellt (Abb. 7 und 8). Bei Letzteren rechnet man die Signale der nebeneinander liegenden Profile einer bestimmten Tiefe (Zeit- oder Tiefenachse) in einen *horizontalen* Plan um. Beide Möglichkeiten zeigen jeweils nur einen zweidimensionalen Ausschnitt der Daten. Da die Messungen jedoch grundsätzlich *dreidimensionale Informationen* abbilden, musste ein anderes Verfahren gefunden werden. Die Berechnung von Isoflächen bot sich dazu an. Dabei handelt es sich um eine dreidimensionale Variante der Isolinien, wie sie für Höhenschichtenpläne verwendet werden. Erst mit Hilfe dieses Verfahrens wird es möglich, die genauen Verhältnisse des Untergrundes und die relative Position benachbarter Strukturen zu erfassen (Abb. 9). Diese Techniken erlauben es auch, die Daten dreidimensional zu betrachten.

8 I. Scollar, AirPhoto – A WinNT/Win95 program for geometric processing of archaeological air photos. AARG News 16, 1998, 37–38. Für die Entzerrung wurde Version 1.34 benutzt.

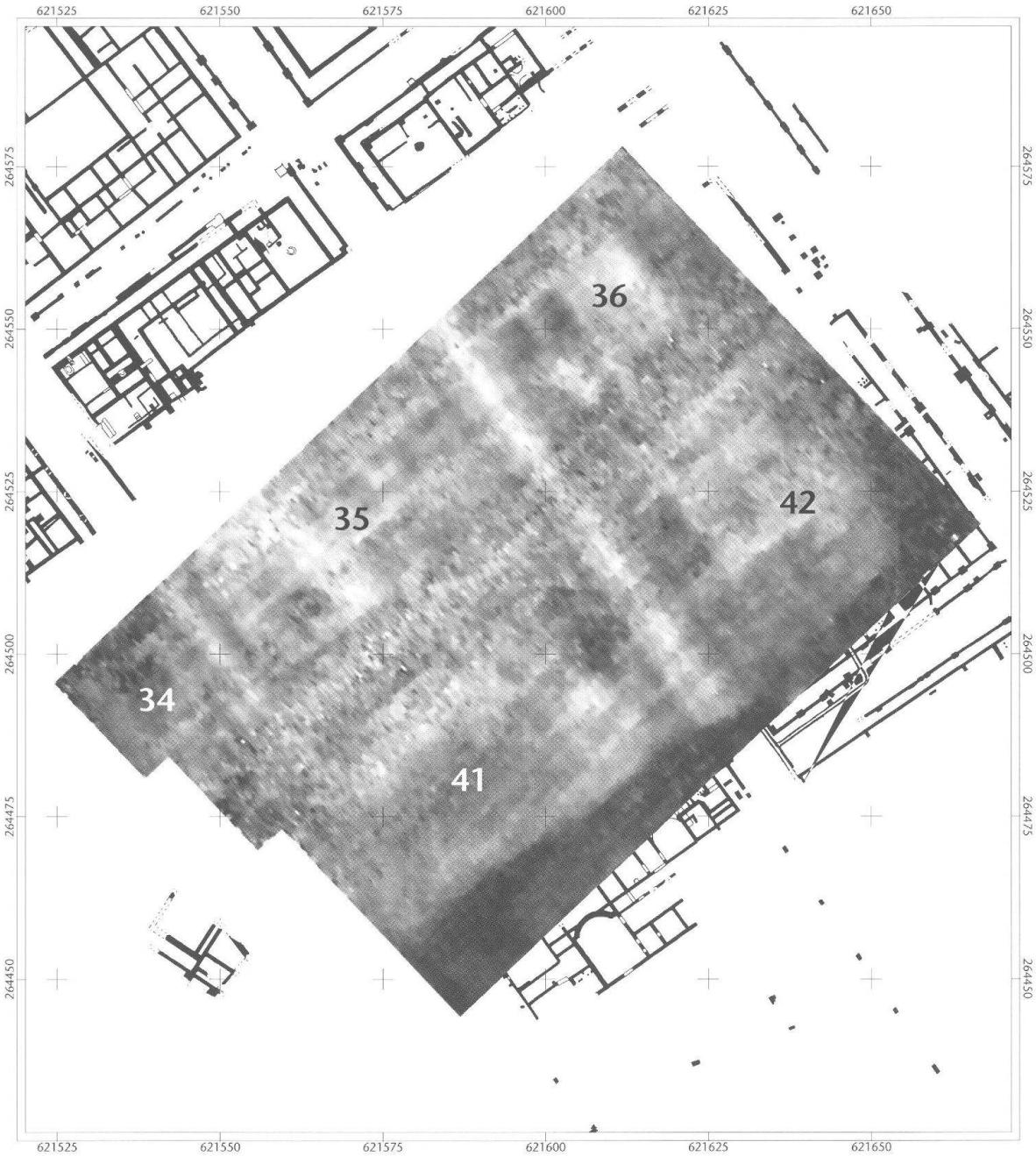


Abb. 4: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Resultate der* ***Widerstandsmessungen*** *als Graustufendarstellung. Im Vergleich zu den anderen geophysikalischen Prospektionsmethoden (Abb. 5 und 7) weist die Elektrik die schlechteste Auflösung auf. Dynamik: 60–360 Ωm. M. 1:1000.*

Sobald die räumlichen Verhältnisse der Reflektoren im Untergrund verstanden sind, ist es wichtig, eine Interpretation der Daten vorzunehmen, um so die gewonnenen Erkenntnisse in eine leicht verständliche Form zu bringen (Abb. 10). Es versteht sich von selbst, dass natürlich auch die Interpretation dreidimensional sein muss (Abb. 11).

Die Interpretation der Daten von Augst zeigt, dass die Bodenradardaten einen bis jetzt für die geophysikalische Prospektion noch nie dagewesenen Detaillierungsgrad aufweisen, so dass sich die Inneneinteilungen der sechs betroffenen *insulae* sehr genau dokumentieren lassen. Aber auch der Aufbau der Strassen und Portiken lässt sich sehr genau ablesen. Eine Analyse der Daten zeigt, dass drei grosse Bauphasen A–C vorhanden sind, deren Niveaus in einer Tiefe von 0,65, 0,9 und 1,4 m unter der heutigen Oberfläche liegen. Dies lässt sich auf Grund der Gehhorizonte, der Tiefen von sich überlagernden Mauern und der Türschwellen rückschliessen (Abb. 12).

Die *Magnetikdaten* lieferten für die Interpretation wichtige Zusatzinformationen, auf Grund deren auf verschiedene Öfen/Herdstellen (gebrannter Lehm) geschlossen werden

Abb. 5: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Resultate der* **Magnetikmessungen.** *Einzelne Mauern sind gut sichtbar. Auf Grund der zum Teil sehr unterschiedlichen Signale lassen sich sogar Hinweise auf das Baumaterial gewinnen. Während vermutlich meist Kalkstein benutzt wurde, muss an einzelnen Stellen mit Backsteinen/Lehmziegelwänden gerechnet werden. Dynamik: –19 bis +19 nT/m. M. 1:1000.*

konnte. Während die *Widerstandsmessungen* nur Angaben über das Innere der Räume lieferten, konnten die *Luftbilder* bei unklaren Situationen beigezogen werden.

Die *insulae* 34 und 40

Die *insulae* 34 und 40 sind offensichtlich miteinander verbunden (Abb. 13). Gegen die Steinlerstrasse hin ist eine Portikus, bestehend aus einzelnen Säulen, vorhanden. Die Basen dieser Säulen konnten in den Daten erkannt werden (Abb. 13,2). Direkt am Strassenrand befindet sich eine längliche Störung, die in regelmässigen Abständen stärker wird (Abb. 13,3). Ein in diesem Bereich angelegter Sondierschnitt (Grabung 1978.56) bestätigt, dass hier eine Deuchel-Wasserleitung liegt. Die Signale weisen darauf hin, dass sie offensichtlich aus einzelnen Stücken (mit Muffen?) mit einer Länge von 2,6 m besteht. In direkter Verbindung dazu ist in der Strasse ein «Hohlraum» vorhanden, bei dem es sich um einen Verteil- oder Sammelschacht für

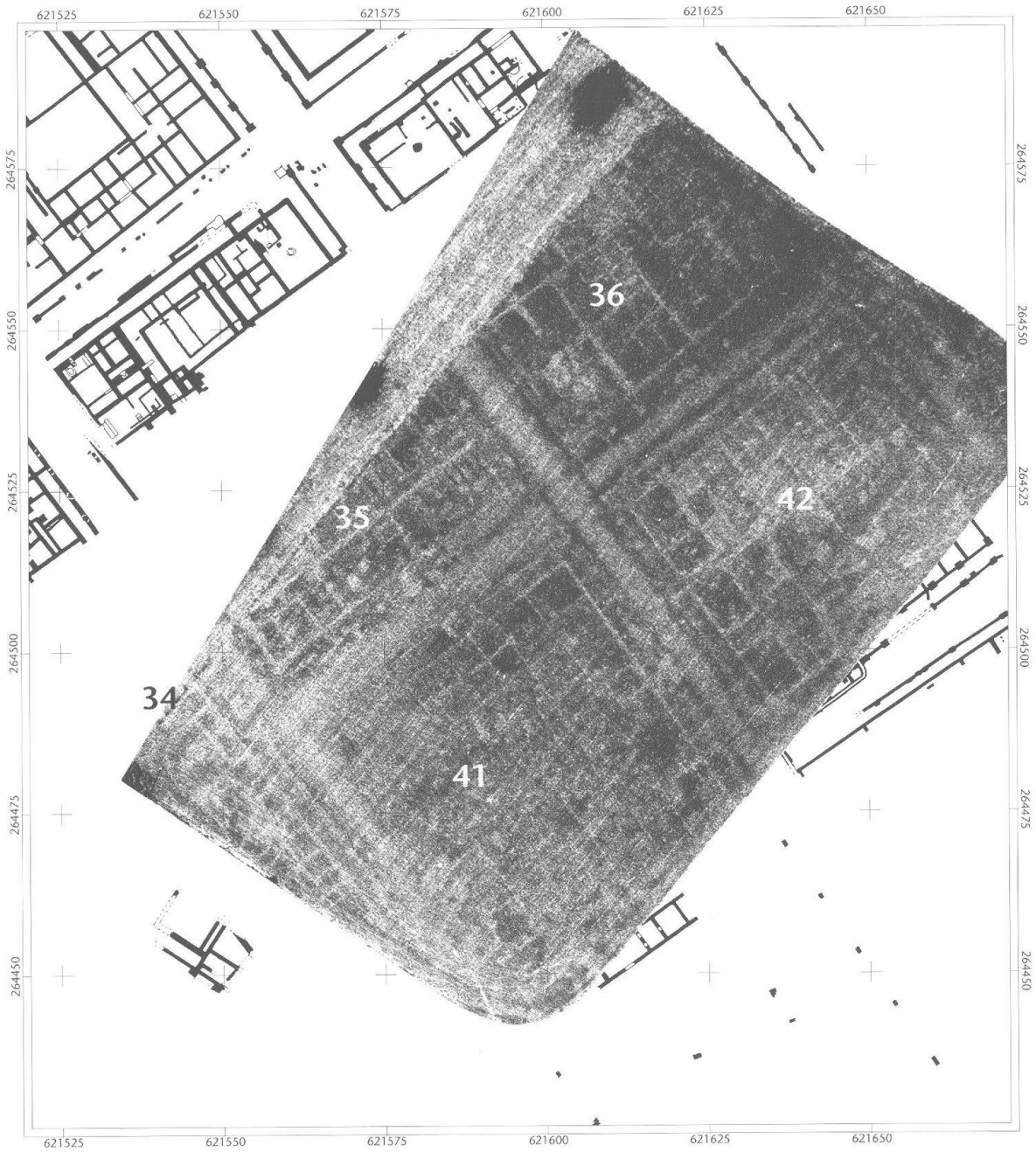


Abb. 6: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Entzerrtes* **Luftbild** *(Orthofoto) von 1962. Die Entzerrung erfolgte mit Hilfe des Programms AirPhoto. M. 1:1000.*

Frisch- bzw. Abwasser handeln könnte (Abb. 13,4). Etwas weiter nördlich wird die Herculesstrasse von einer Leitung unterquert (Abb. 13,57), die auf Grund ihrer Breite von 0,46 m als Abwasserkanal anzusprechen ist. Die Hinweise auf die Wasserversorgung, konzentriert auf die südwestliche Ecke der *insula* 41, lassen daher an den Standort eines *Brunnens* denken. Dies wäre auf Grund der Lage und Abstände bereits bekannter Brunnen nicht unwahrscheinlich[9].

Die Aufteilung der *insulae* scheint hier in der ältesten Phase A markant anders als in den jüngeren Phasen gewesen zu sein, worauf ein beinahe *runder* Mauerzug hindeutet (Abb. 13,8). Er könnte gleich orientiert sein wie die

9 A. R. Furger (mit einem Beitr. v. M. Horisberger), Die Brunnen von Augusta Raurica. Jahresber. Augst u. Kaiseraugst 18, 1997, 143–184 und A. R. Furger, Zur Wasserversorgung von Augusta Raurica. In: R. Ebersbach/A. R. Furger/M. Martin/F. Müller/B. Rütti (Hrsg.), MILLE FIORI. Festschr. Ludwig Berger. Forsch. Augst 25 (Augst 1998) 43–50 bes. 48 f. Abb. 2.

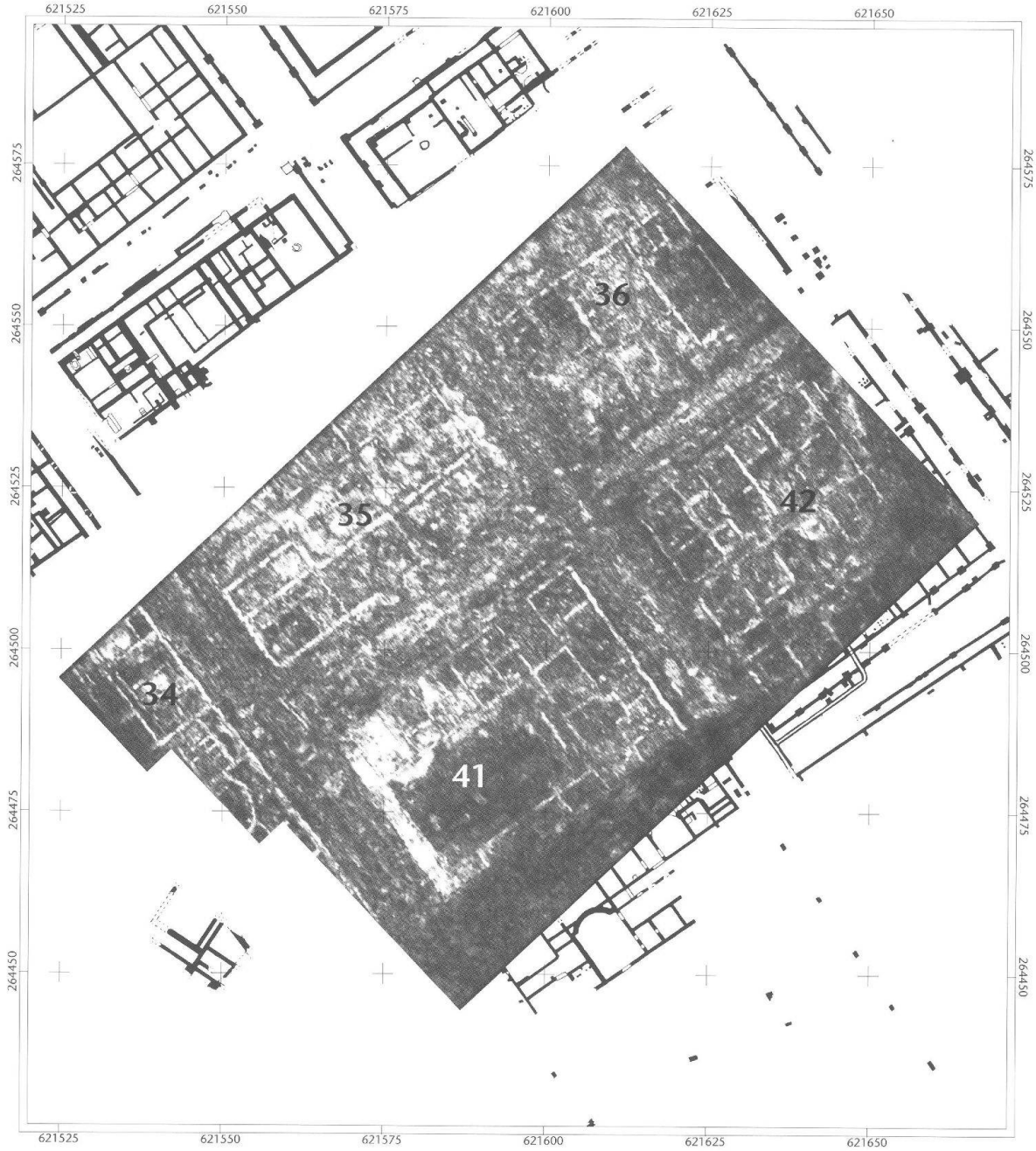


Abb. 7: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Horizontale* ***Tiefenscheibe der Bodenradarmessungen.*** *Neben der allgemeinen Gliederung des Gebietes in die* insulae *lässt sich auch die genaue Inneneinteilung und Überbauung ablesen.* ***Tiefe 0,60–0,65 m.*** *M. 1:1000.*

15 m weiter südwestlich ausgegrabenen Strukturen[10]. Die randliche Erfassung dieser Struktur erlaubt jedoch keine weiteren Aussagen.

Spätestens in Phase B wurde der nördlichste Teil abgetragen und durch einen rechteckigen, parallel zur Strassenfront ausgerichteten Mauerzug gestört (Abb. 13,6.9). In der nördlichen Hälfte dieses Gebäudekomplexes finden sich verschiedene sich überlagernde Mauerzüge (Abb. 13,7), die zum Teil einen Ofen einschliessen (Abb. 13,5). Das heisst, dass sich in diesem Bereich ein Handwerksbetrieb befunden haben muss.

Die *insula* 35

In der *insula* 35 lässt sich die wohl ursprüngliche, Südwest-Nordost verlaufende Gliederung auch in den Bodenradardaten sehr klar ablesen (Abb. 14). Im vorderen Teil gegen

10 Grabung 1924.62.

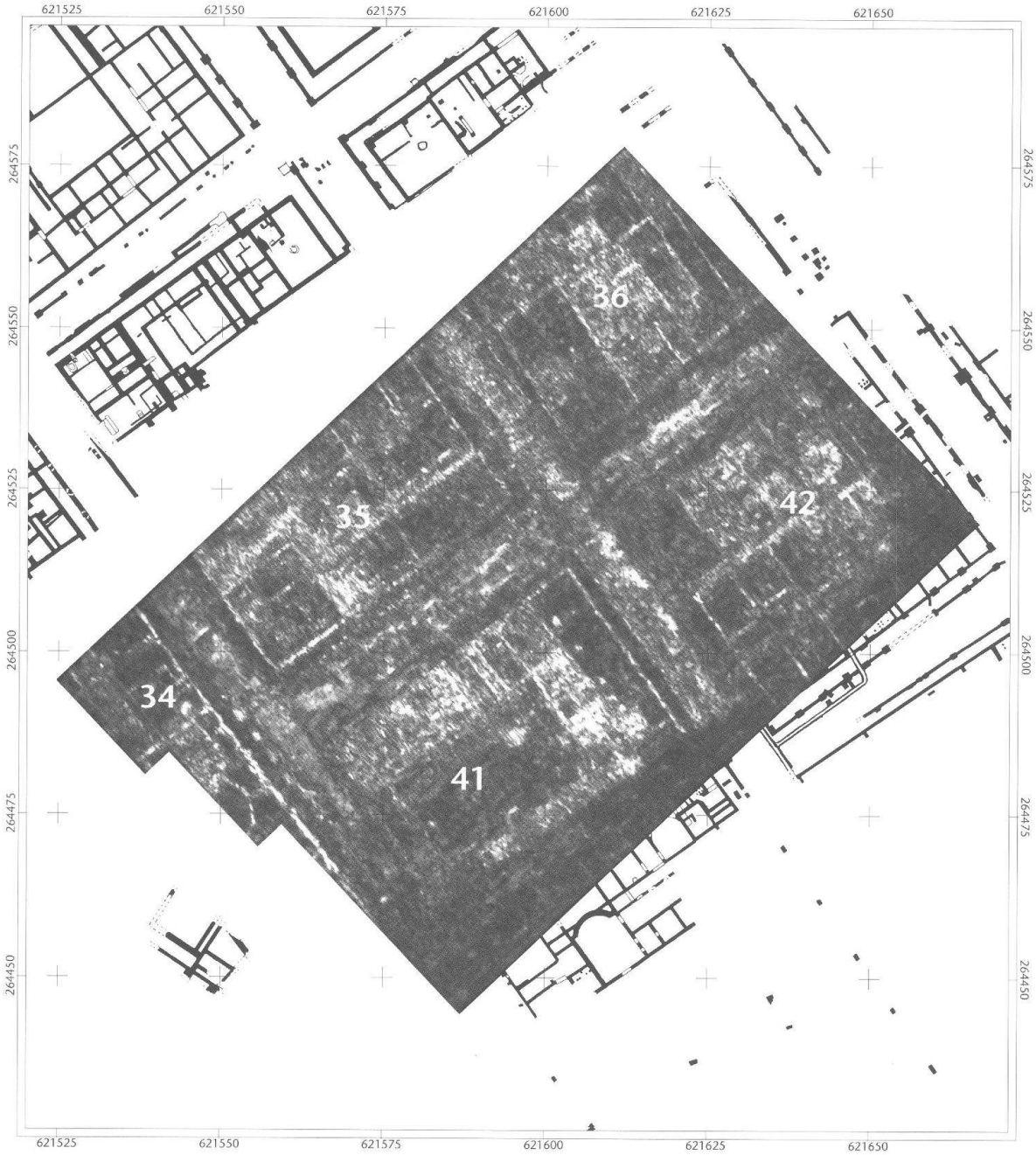
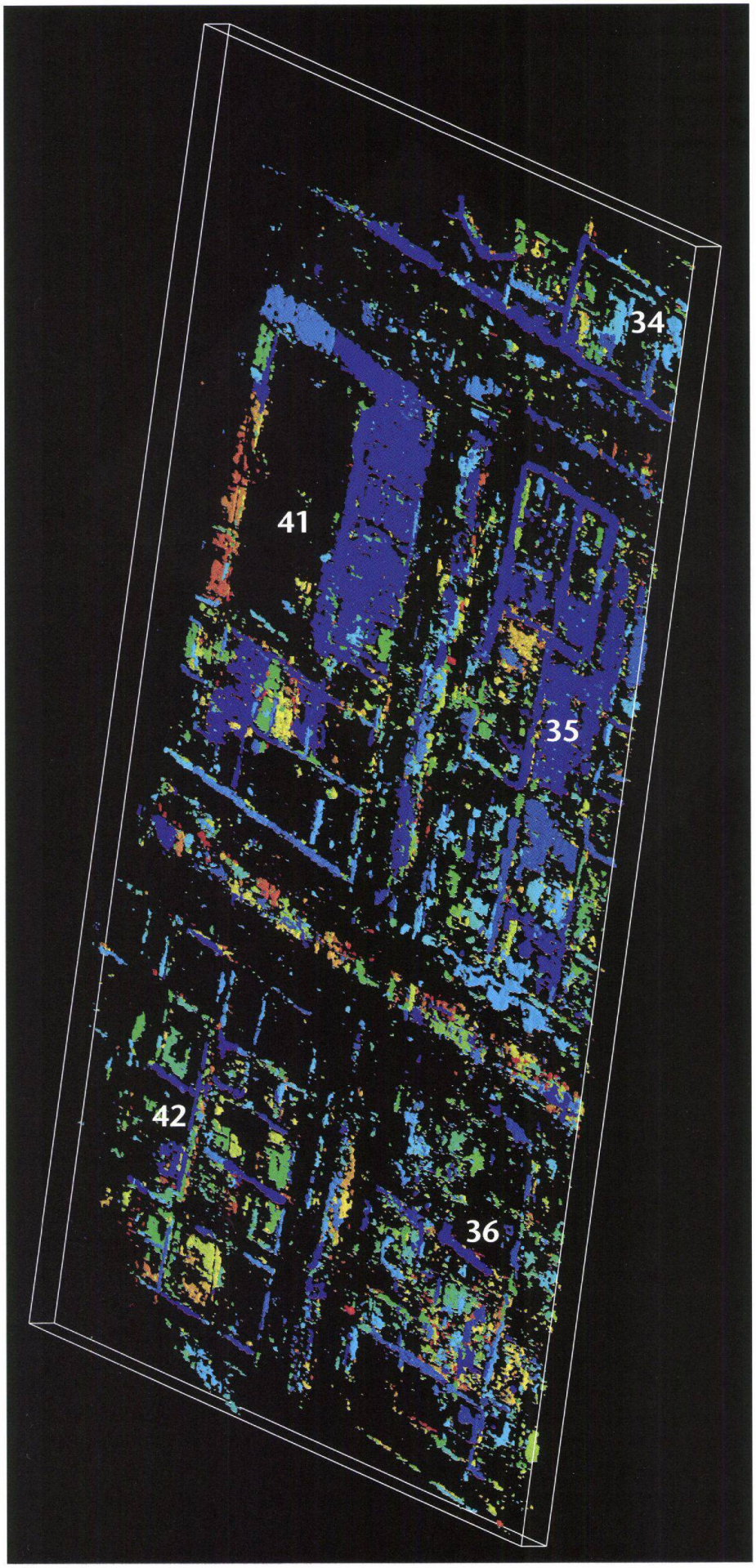


Abb. 8: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Horizontale* ***Tiefenscheibe der Bodenradarmessungen.*** *Man beachte, wie sich die Einteilung in einzelnen Bereichen gegenüber Abbildung 7 geändert hat. Zusammen mit den Gehniveaus und Türschwellen lassen sich daraus einzelne Bauphasen ablesen.* ***Tiefe 1,20–1,25 m.*** *M. 1:1000.*

die Herculesstrasse hin haben sich offensichtlich Handwerksbetriebe befunden, wie auf Grund verschiedener Öfen geschlossen werden kann (Abb. 14,10.11). Besondere Beachtung verdient eine in der nordöstlichen Ecke vorhandene, rechteckige Konstruktion (Abb. 14,11), die wohl einst mit vier Eckpfeilern umgeben war, von denen sich zwei in den Daten sicher erkennen lassen. Gegen die Portikuswand hin scheint in diesem Raum auch noch ein Gehhorizont vorhanden zu sein (Abb. 14,12). Offensichtlich führen an der südlichen Seite des Raumes zwei Türen in den mittleren Teil der Anlage (Abb. 14,13). Dort fällt ein grosser Komplex von Böden auf (Abb. 14,18), der jedoch schwer zu interpretieren ist. Daran anschliessend scheint sich ein Innenhof befunden zu haben (Abb. 14,19), dessen Becken *(impluvium?)* mit einer Leitung nachgewiesen werden konnte. Der hinterste, dritte Streifen der Einteilung lässt sich nicht weiter interpretieren. Auf der Portikusmauer der *insula* haben sich sogar einzelne Säulenfundamente erhalten (Abb. 14,20), deren Abstand rund 2,9 m beträgt. Schwächere Signale und eine leichte Delle im Gelände lassen vermuten, dass die westliche Ecke der *insula* etwas stärker zerstört ist.



◀ *Abb. 9: Augst,* insulae *34–36 und 40–42. Dreidimensionale Visualisierung der gesamten Messdaten als Isoflächen. Die einzelnen Körper sind entsprechend der Tiefe farbkodiert, um so die Lesbarkeit zu verbessern (mit zunehmender Tiefe: blau–grün–gelb–rot).*

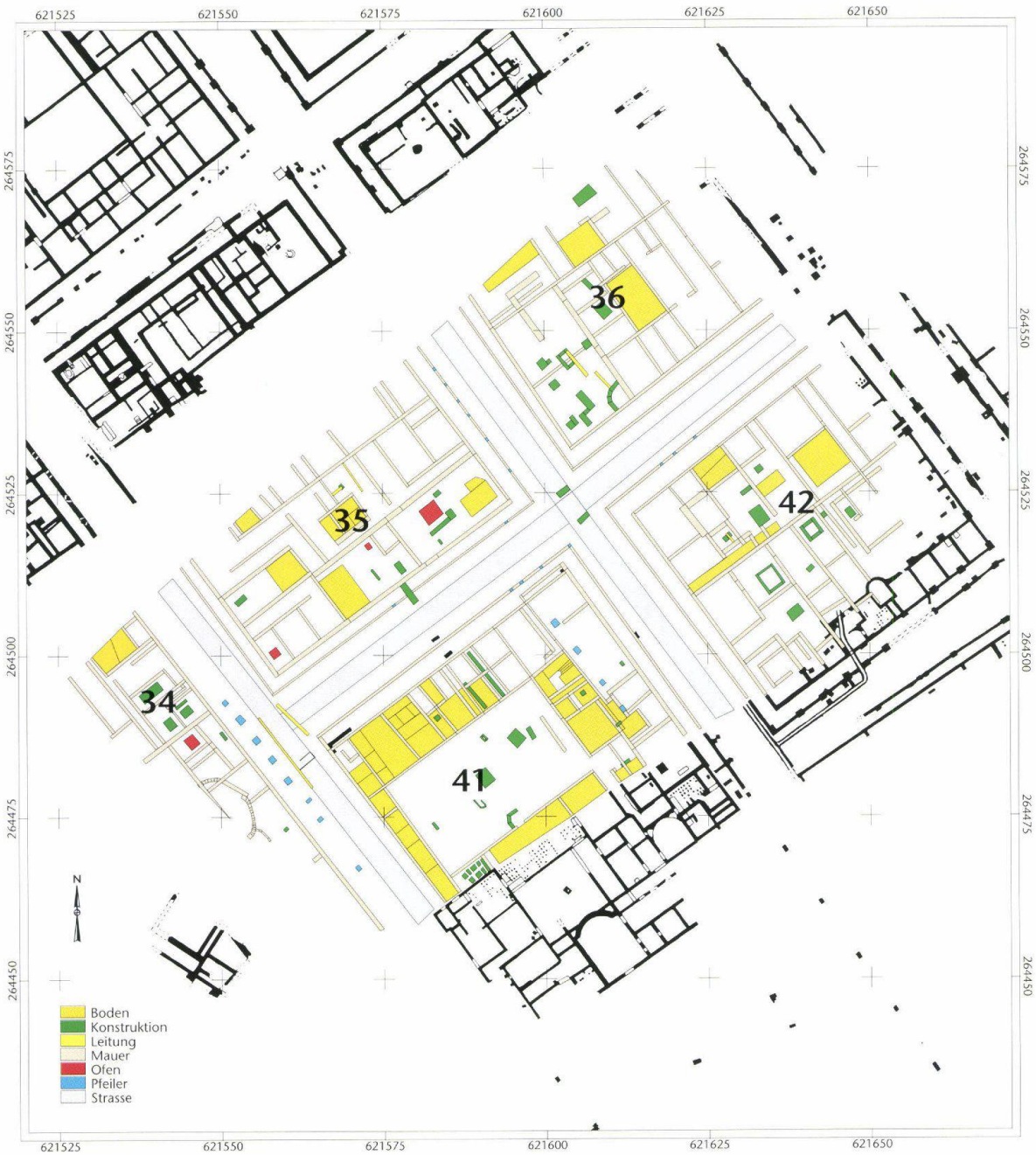


Abb. 10: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Zweidimensionale Interpretation aller Prospektionsmethoden. Man vergleiche, wie gut die Resultate des Bodenradars mit den Grabungsresultaten im Südwesten (schwarz ausgezogene Strukturen) übereinstimmen. M. 1:1000.*

Die *insula* 36

Ein Vergleich der Magnetik- mit den Bodenradardaten der *insula* 36 zeigt, dass im zentralen Bereich die Mauern starke, positive magnetische Anomalien aufweisen (also eine remanente Magnetisierung besitzen), während normalerweise nur schwache negative Signale gemessen werden können (Abb. 15). Dies lässt darauf schliessen, dass die Mauern hier aus Ziegeln bestehen, während normalerweise Steine (wohl Kalksteine) verwendet wurden. Während die grobe Einteilung dieser *insula* über alle Phasen hinweg gleich blieb, wurde die feinere Einteilung stark verändert. Bereits in Phase A wurde in der Mitte ein grosser, 2 m tiefer Kellerraum angelegt (Abb. 15,22), der von verschiedenen kleineren Räumen umgeben war. In den Bodenradardaten lassen sich in einer Tiefe von 1,3 m starke flächige Reflexionen fassen. Dies deutet auf Gehhorizonte oder sogar Böden hin.

In der nächsten Phase bildete vermutlich ein Innenhof mit zentral gelegenem Sockel (Abb. 15,24) das Zentrum. Während am Nordrand der *insula* in dieser Phase verschiedene Böden fassbar sind (Abb. 15,25), entstehen im Süden

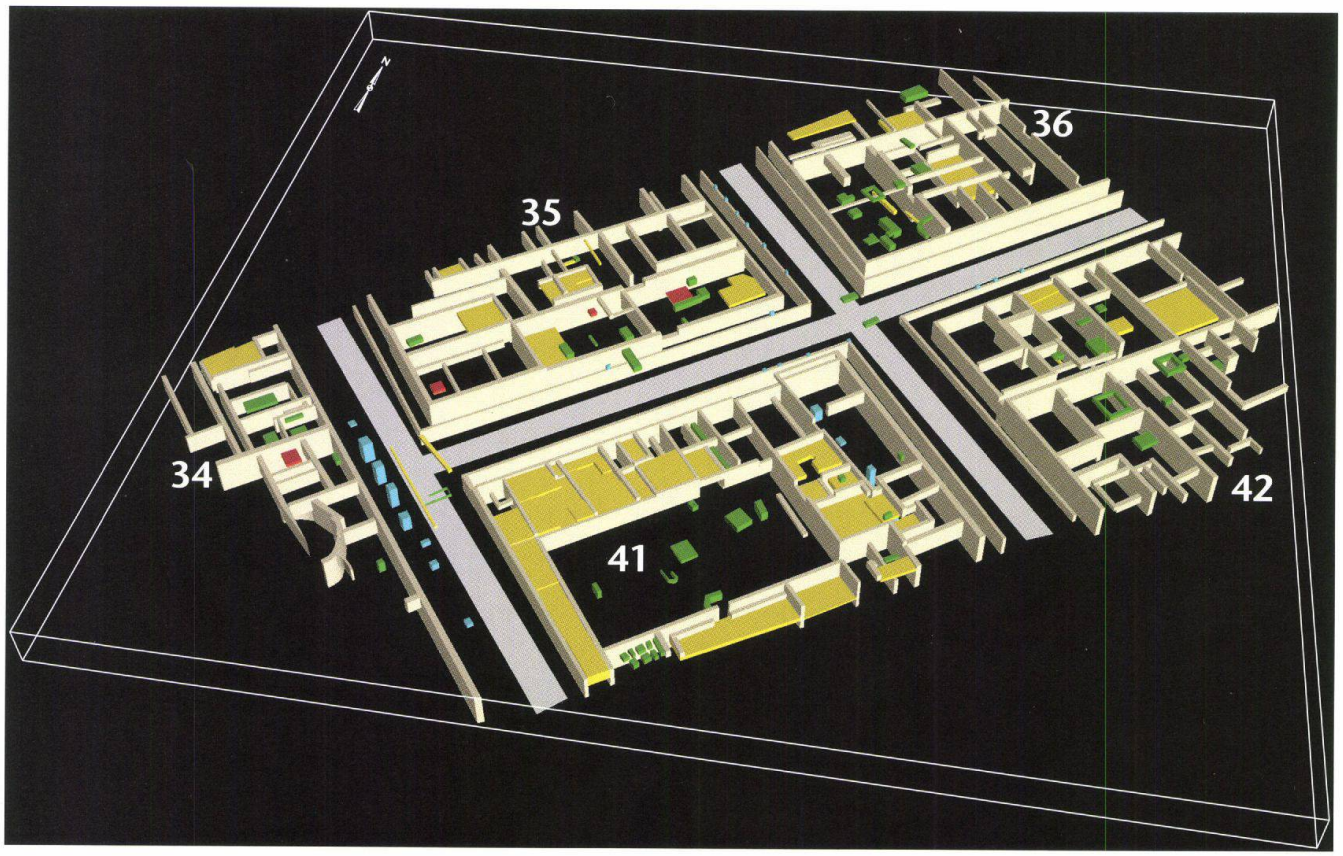


Abb. 11: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Dreidimensionale Interpretation. Vereinfachend ist nur das unterste Strassenniveau dargestellt. Die Farbgebung entspricht jener der Legende von Abbildung 10. Die Abbildung ist zweifach überhöht.*

diverse Einbauten (Abb. 15,26). Auf Grund der niedrigen Werte der Widerstandsmessungen ist hier mit einem grossen Hof oder einer Werkhalle ohne festen Boden zu rechnen.

In Phase C wird die Einteilung nochmals verändert, und es entstehen diverse Einbauten, wie ein Becken mit Leitung (Abb. 15,28), eine massive Platte von 1,2 m Seitenlänge (Abb. 15,29) sowie eine Türe (Abb. 15,27), die in einen Gang (Abb. 15,30) führte. Diese Konstruktionen wie auch die Anlage in der Raumecke (Abb. 15,31) lassen wiederum vermuten, dass hier spätestens ab der Phase B ein Handwerksbetrieb vorhanden war.

Die *insula* 41

Am Südrand der *insula* 41 wurden in den 1970er Jahren die Reste eines repräsentativen Wohnpalastes – des so genannten «Palazzo» – mit verschiedenen Mosaiken ausgegraben (Abb. 16; vgl. Anm. 3). In den Bodenradardaten lässt sich erkennen, dass diese Anlage in der ältesten Phase A, etwa in der Mitte der Nordwestseite, einen grossen, über 2,5 m breiten Eingang besass (Abb. 16,33), der in einen Innenhof führte (Abb. 16,34). Der Eingangsbereich wurde durch je eine parallele, zurückversetzte Mauer verstärkt (Abb. 16,35), was auf eine massive Konstruktion oder gar eine Überwölbung hindeutet. Rund um den Innenhof waren verschiedene Räume angeordnet. Auf der Südostseite befindet sich ein hypokaustierter Raum, dessen eine Hälfte bereits ausgegraben wurde (Abb. 16,36; vgl. Anm. 3). Ein *Vergleich mit den Grabungsresultaten* zeigt, dass zwar nicht die einzelnen Pfeiler des Hypokaustes, wohl aber die Mauerabsätze des «schwebenden» Bodens fassbar sind (Abb. 16,37). Gegen den Innenhof hin muss ein *praefurnium* bestanden haben. Darauf deuten ein Unterbruch in der Mauer und ein angebautes Viertelrund hin (Abb. 16,38). Auf der Nordostseite des Hofes befand sich ein Eingang (Abb. 16,40), der in einen stumpfen Gang führte. Dieser war beidseits von Mauern flankiert (Abb. 16,41), wobei die nördliche davon verstärkt war. Dies scheint auf eine besondere Bedeutung dieses Teils hinzuweisen. Dahinter, gegen die Heidenlochstrasse, befand sich ein weiterer schmaler Hof (Abb. 16,42), an dessen südlicher Seite sich grosse Pfeilerfundamente erhalten haben (Abb. 16,43). Vermutlich bestand hier einst ein Laubendach.

In der Phase B finden zahlreiche Um- und Einbauten statt. Neben diversen kleinen Änderungen der Inneneinteilung werden in den meisten Räumen um den Innenhof Böden eingebaut (Abb. 16,44). Zu diesem Zeitpunkt wurde offensichtlich der repräsentative Eingang im Nordwesten nicht mehr benutzt, da ein Boden über diesen hinweg

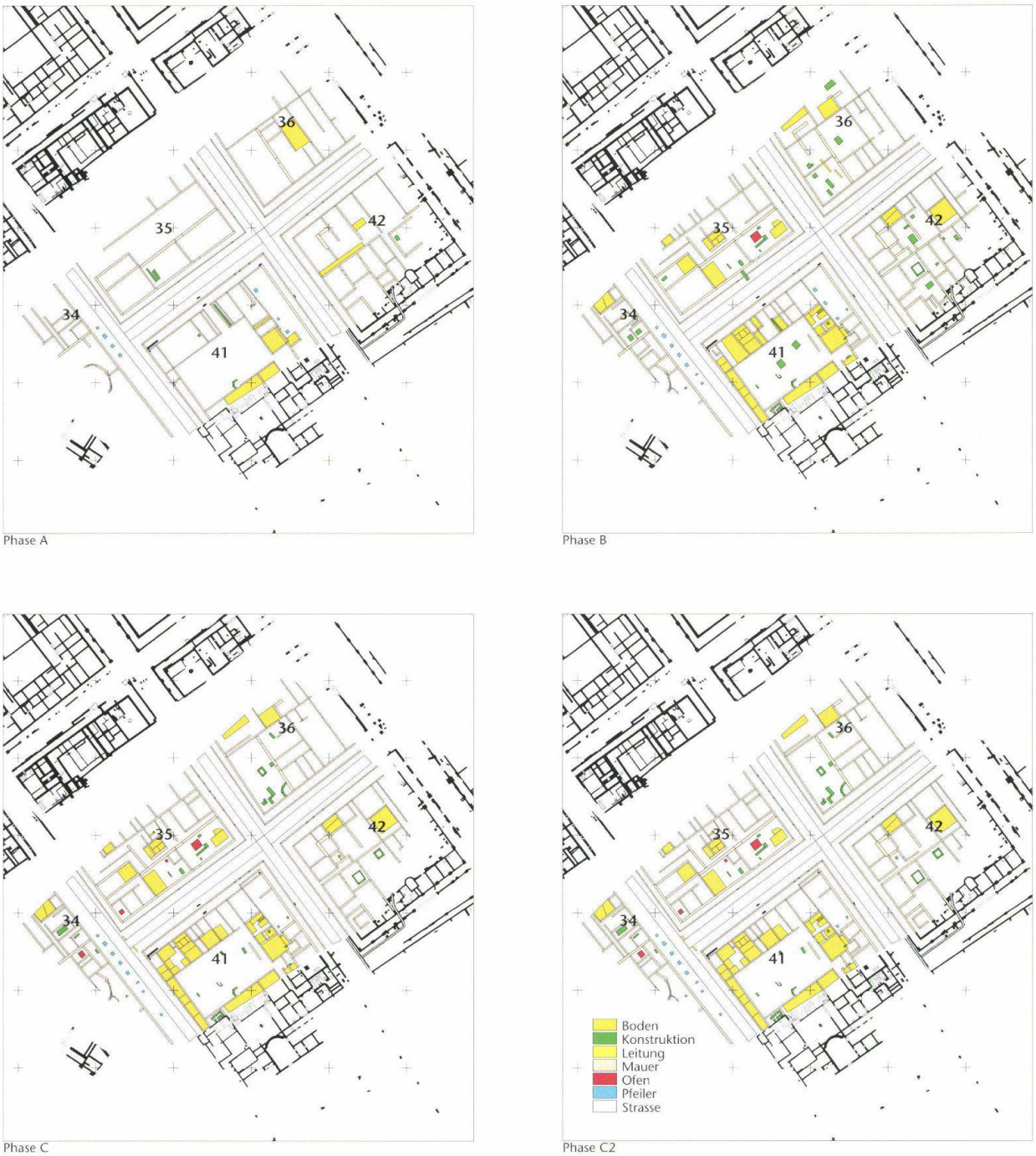


Abb. 12: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Interpretation, aufgegliedert nach den einzelnen Phasen A bis C2. M. 1:2000.*

eingezogen wurde (Abb. 16,45). Wie ein Grabungsschnitt zeigt, ist hier mit Mosaikböden zu rechnen (siehe unten mit Abb. 19). Die Geometrie der Reflexionen der Bodenradardaten weist darauf hin, dass sich, direkt an die Mauer angelehnt, ein Schuttfächer befindet (Abb. 16,47). Südlich des grossen, hypokaustierten Raumes wurde eine Kanalheizung eingebaut, deren massive Teile sich als unförmige Blöcke erkennen lassen (Abb. 16,48). Im Innenhof entstehen in dieser Phase diverse, nicht weiter interpretierbare Einbauten in Form von Sockeln und Mauerrechtecken (Abb. 16,49). Vorgelagert zum Nordost-Eingang (Abb. 16,40) wird in den Hof eine Mauer gebaut (Abb. 16,50). Hinter dem Eingang erkennt man nun einen Gehhorizont (Abb. 16,51), der auf eine kleine Mauer – oder Treppe? – führt (Abb. 16,52). Dahinter befindet sich ein erhöht gelegener Boden (Abb. 16,53), der wiederum von massiven Mauern flankiert ist und in dessen Mitte sich ein rechteckiger Block nachweisen lässt (Abb. 16,54). Die besondere Lage innerhalb des «Palazzo» und die Bauweise könnten auf ein Heiligtum mit einer zentral aufgestellten Statue auf einem

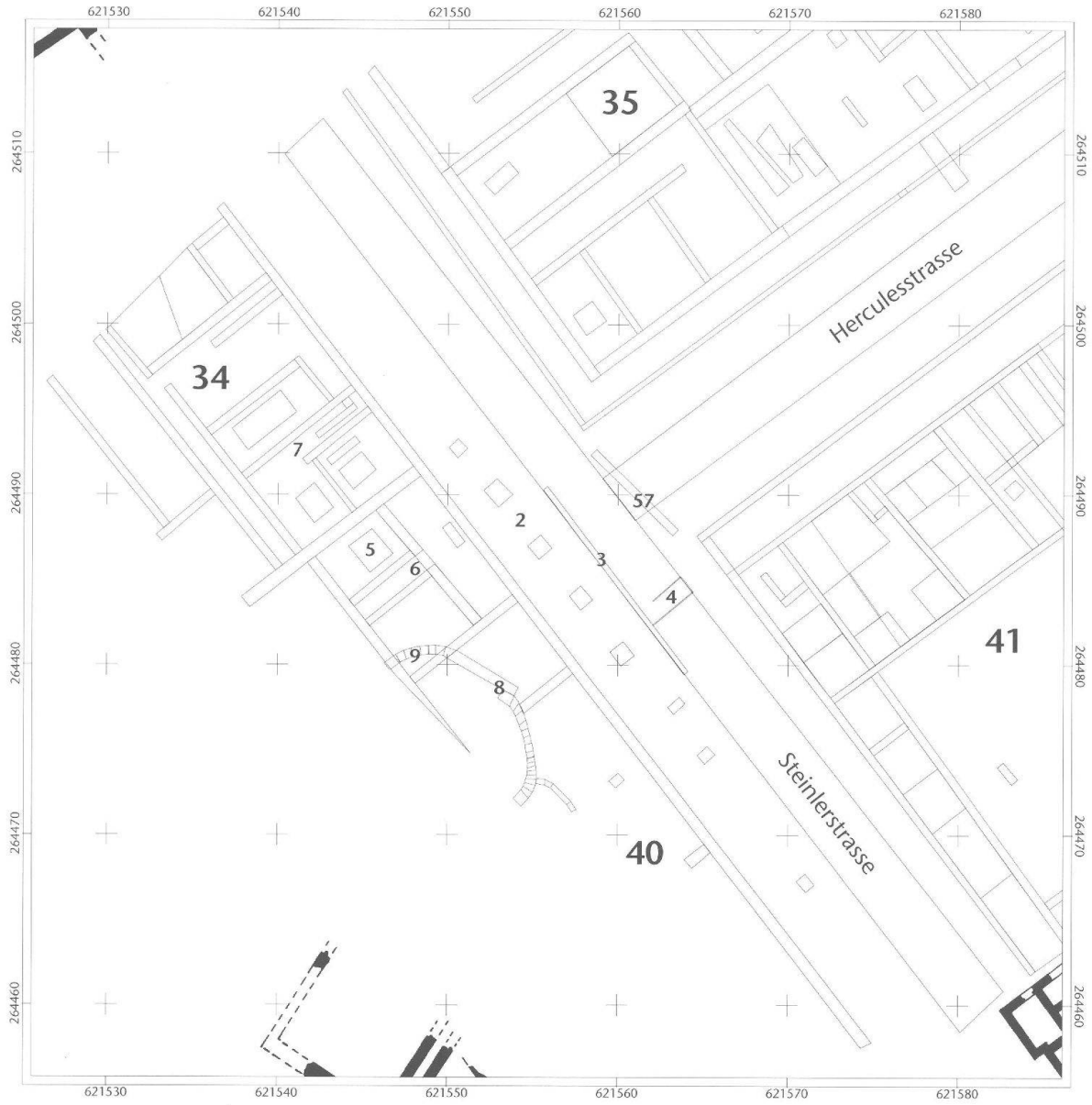


Abb. 13: Augst. Ansprache der Strukturen der insulae *34 und 40 (die kleinen Nummern sind im Text S. 56–58 erläutert). M. 1:400.*

(Altar?-)Sockel hindeuten. Hier wäre zum Beispiel an ein *lararium* zu denken. Der östliche Hof (Abb. 16,42) scheint in dieser Phase, trotz einer Reduktion der Fläche, mehr oder weniger erhalten geblieben zu sein. Erst in der jüngsten Phase C wurde er interessanterweise auf die Strasse hinaus erweitert (Abb. 16,56).

Die *insula* 42

Im Gegensatz zur *insula* 35 ist die *insula* 42 nur in zwei, jedoch viel grössere Streifen unterteilt, deren Entwicklung offensichtlich unabhängig voneinander erfolgte (Abb. 17). Ein Eingang zum nördlichen Teil (Abb. 17,59) führte über einen über 17 m langen Gang direkt der Brand- bzw. Trennmauer entlang (Abb. 17,60), der mit einem massiven Boden versehen war. Während allen Phasen wurde der Mauerwinkel (Abb. 17,61) genutzt, der bereits in Phase B zu einem Rechteck ergänzt wurde (Abb. 17,62). Nördlich davon wurde gleichzeitig ein Boden eingebaut (Abb. 17,63). In Phase C entstand zwischen dem Mauergeviert und dem Gang vermutlich ein Innenhof, dessen zentrale Konstruktion mit Leitung sich in den Daten erkennen lässt (Abb. 17,64). Es dürfte sich hier um ein Wasserbecken handeln[11]. Aus-

11 Ähnlich der kleinen Peristyle mit Brunnenbecken in den *insulae* 23, 24 und 31: Furger 1997 (Anm. 9) 170 ff.

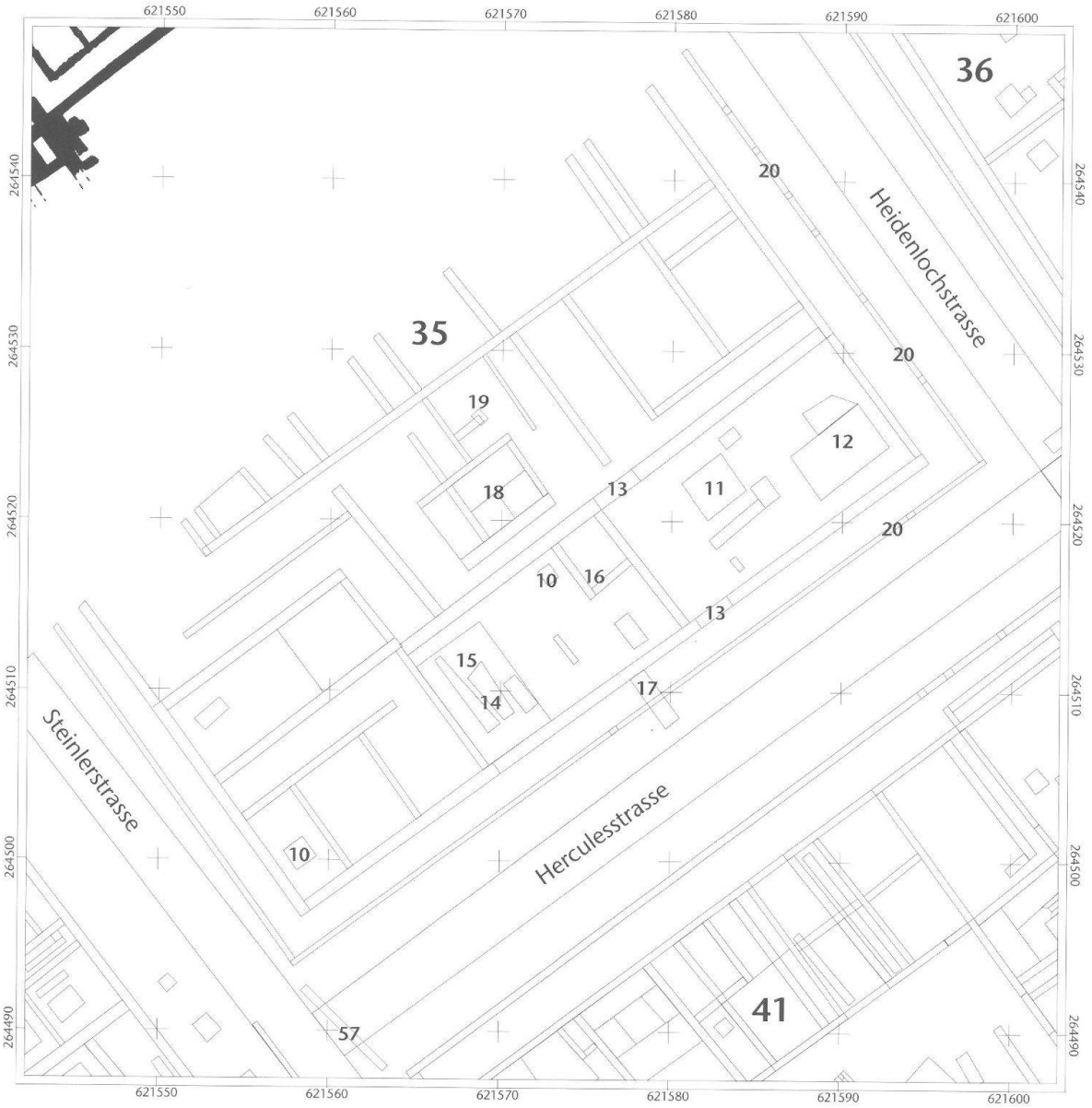


Abb. 14: Augst. Ansprache der Strukturen der insula *35 (die kleinen Nummern sind im Text S. 58 f. erläutert). M. 1:400.*

nahmsweise zeichnen sich in diesem Bereich weitere Modifikationen ab, die einer vierten Phase zugeordnet werden müssen. Der Gang (Abb. 17,60) führte immer auf einen Durchgang (Abb. 17,66) zu einem östlichen Abschnitt des Häuserblocks hin. Hier wurde neben verschiedenen Mauern schon bald ein grosser Boden erstellt (Abb. 17,67).

Der südliche Teil der *insula* weist nur in der östlichen Hälfte eine deutliche Veränderung im Verlaufe der Besiedlung auf. Dort scheint ein grosser Innenhof der Phase A (Abb. 17,68) zu Gunsten der vorherrschenden Nordwest-Südost verlaufenden Inneneinteilung aufgegeben worden zu sein. Interessanterweise wurden während der Phasen B und C zwei rechteckige Mauergevierte von rund 2,1 und 3 m Seitenlänge eingebaut (Abb. 17,69). Zusammen mit der in der Ausgrabung am *insula*-Südostrand gefundenen Badeanlage mit Hypokaust[12] deutet dies auf eine besondere Bedeutung dieses Komplexes hin.

Westlich der *insula*, an der Strassenkreuzung zwischen der Hercules- und der Heidenlochstrasse, zeichnen sich in den Bodenradardaten zwei 2 m lange und 0,8 beziehungsweise 0,9 m breite Blöcke ab. Ihre Form und Lage deuten darauf hin, dass es sich hier um mehrere grosse Steine handelt, die als Fussgängerübergang genau an der Strassen-

12 Grabung 1972.53, unpubliziert. – Vgl. T. Tomasevic-Buck (mit Beitr. v. H. A. Cahn/A. Meier/A. Mutz), Ein Depotfund in Augusta Raurica, Insula 42. Bayer. Vorgeschbl. 45, 1980, 91–117 bes. 93 Abb. 2.

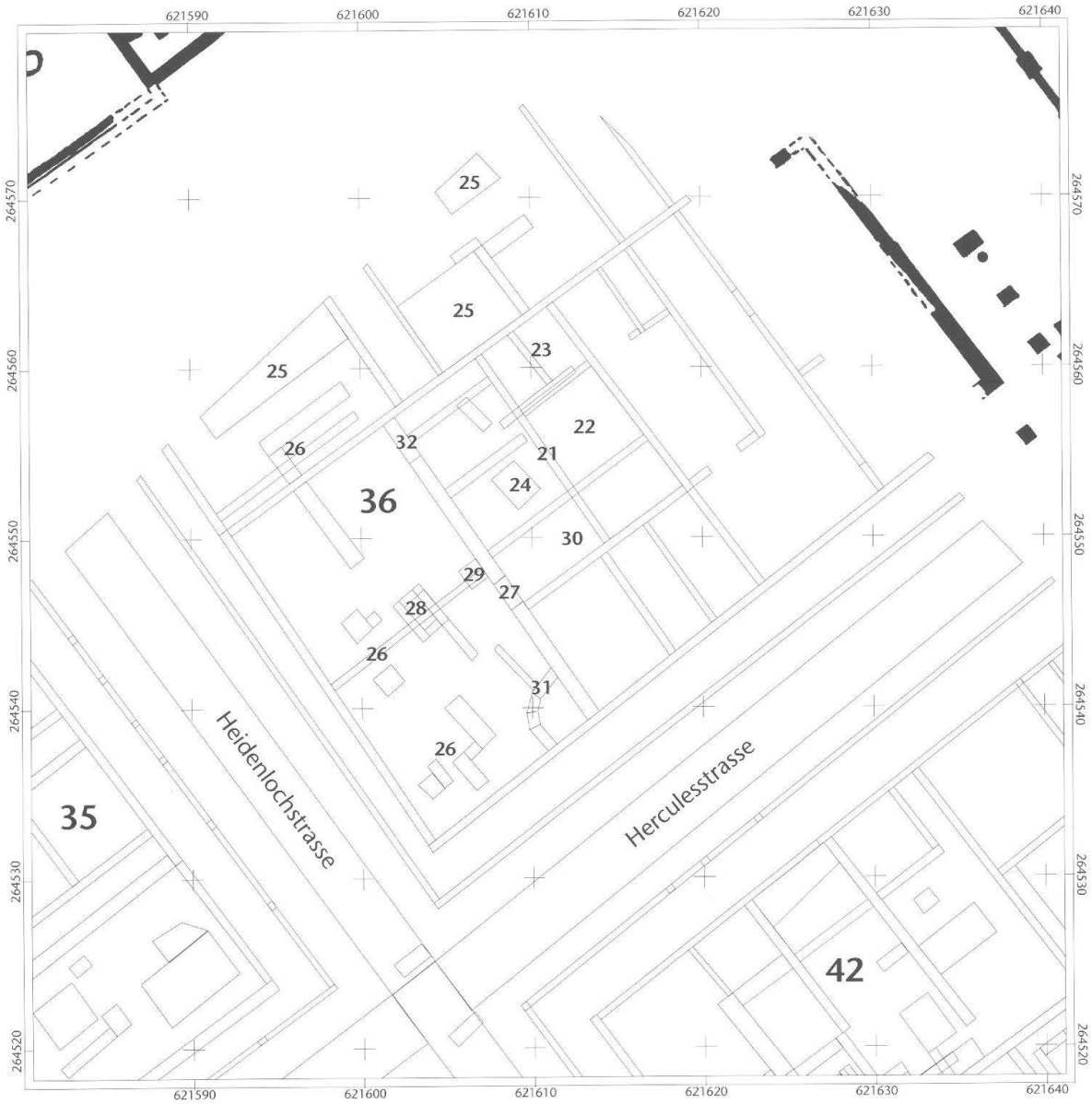


Abb. 15: Augst. Ansprache der Strukturen der insula *36 (die kleinen Nummern sind im Text S. 61 f. erläutert). M. 1:400.*

kreuzung gesetzt wurden[13]. Die Breite der Strassen beträgt im Durchschnitt 3,3 m, was sich gut mit den Grabungsresultaten in der Oberstadt von Augusta Raurica deckt. Es lassen sich sogar mindestens drei, zum Teil sogar bis fünf verschiedene Schüttungen nachweisen.

Gesamtinterpretation

Über die gesamte gemessene Fläche betrachtet lässt sich erkennen, dass nördlich der Hercules- und auch südlich der Steinlerstrasse vor allem Handwerksbetriebe vorhanden waren. Hier standen offensichtlich Produktionsstätten. Nördlich der Steinler- und südlich der Herculesstrasse hingegen scheint sich ein repräsentatives Wohnviertel befunden zu haben. Dort befanden sich auch Badeanlagen und religiöse und repräsentative Räume. Wirtschaftsbetriebe und gehobene Wohnviertel scheinen somit – genauso wie auch unmittelbar nordwestlich mit den reichen Peristyl-*insulae* 28 und 30 – direkt nebeneinander existiert zu haben.

Versucht man die einzelnen Phasen A–C zeitlich einzuordnen, so stellt man fest, dass die Strukturen des «Pa-

13 Zu solchen «Trittsteinen» s. L. Berger (mit einem Beitr. v. Th. Hufschmid), Führer durch Augusta Raurica (Basel 1998[6]) 182 Abb. 177.

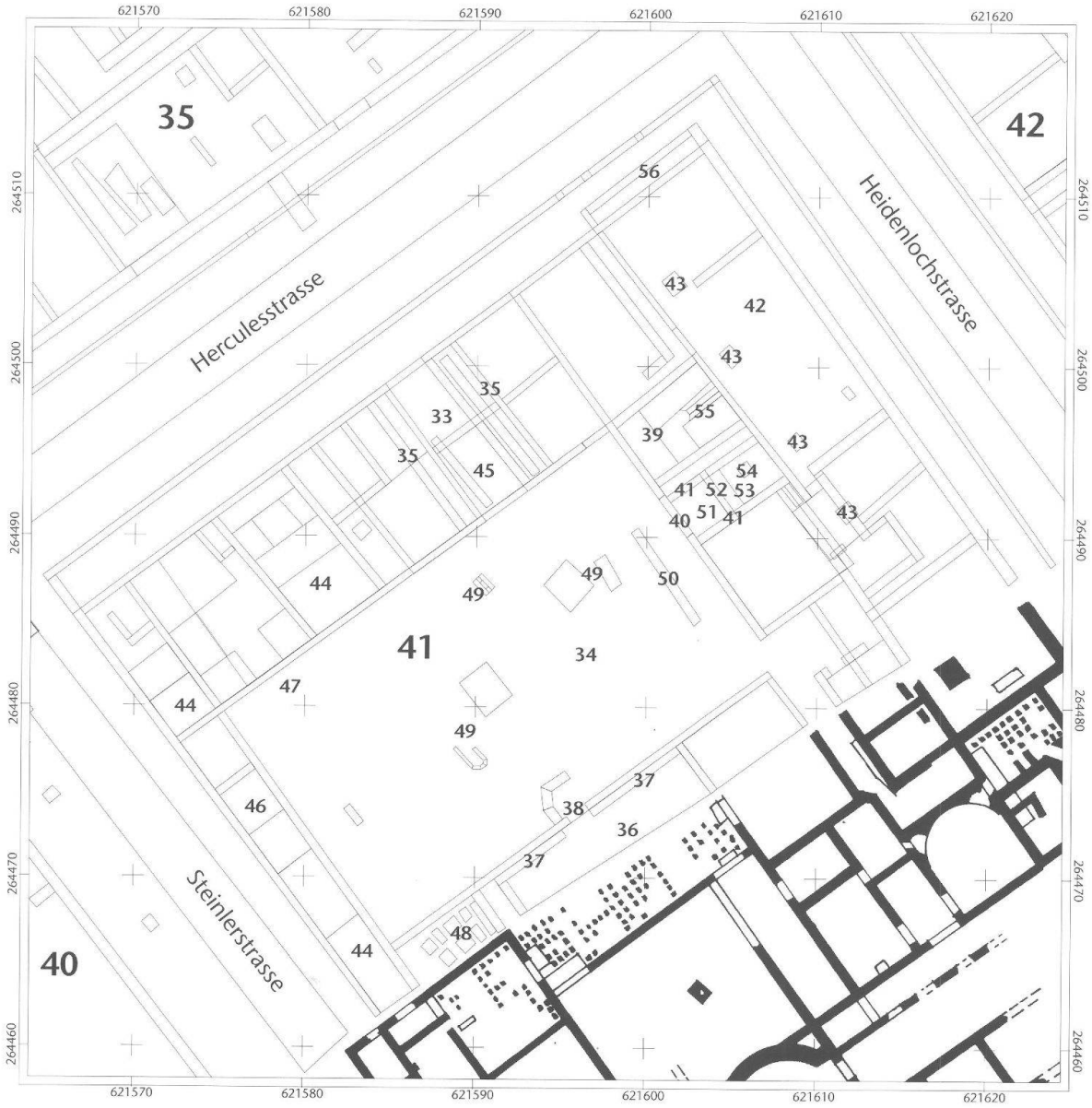


Abb. 16: Augst. Ansprache der Strukturen der insula *41 (die kleinen Nummern sind im Text S. 62–64 erläutert). M. 1:400.*

lazzo», die auf Grund der Ausgrabungsbefunde und Mosaiken (vgl. Anm. 3) im frühen 3. Jahrhundert errichtet wurden, sowohl in unserer Phase B wie auch in Phase C zu finden sind. Eine Erweiterung des Gebäudes auf die Portikus hinaus (Abb. 16,56) sowie die Warmluftheizung mit einem Kanalsystem (Abb. 16,48) finden sich in Phase C und werden allgemein eher spät datiert[14]. Als Hypothese dürfte die Phase C daher ins 3. Jahrhundert zu datieren sein. In der Phase A erkennt man in den *insulae* 35, 36 und 42 sehr deutlich die Südwest-Nordost verlaufende, ursprüngliche Gliederung der Häuserblocks. Diese wurden sowohl beim Übergang zu Phase B als auch zu Phase C zunehmend verbaut und geändert. Es kann daher vermutet werden, dass die Phase A die erste Steinbauphase darstellt, die im Rahmen des «Baubooms» in der zweiten Hälfte des 1. Jahrhunderts n. Chr. erstellt wurde. Die Phase B wäre folglich in das 2. Jahrhundert zu datieren.

Versucht man die Daten statistisch auszuwerten, so lassen sich allenfalls Angaben über die Mauerdicken erheben, die in diesem Falle zwischen 0,4 und 0,5 m liegen (Abb. 18). Während schmalere Mauern nur selten vorkommen, sind grössere Mauerbreiten häufiger anzutreffen, was sicherlich auf Mauern mit höherer Tragkraft zurückzuführen ist.

14 W. Drack, Die römischen Kanalheizungen der Schweiz. Jahrb. SGUF 71, 1988, 123–159 bes. 157.

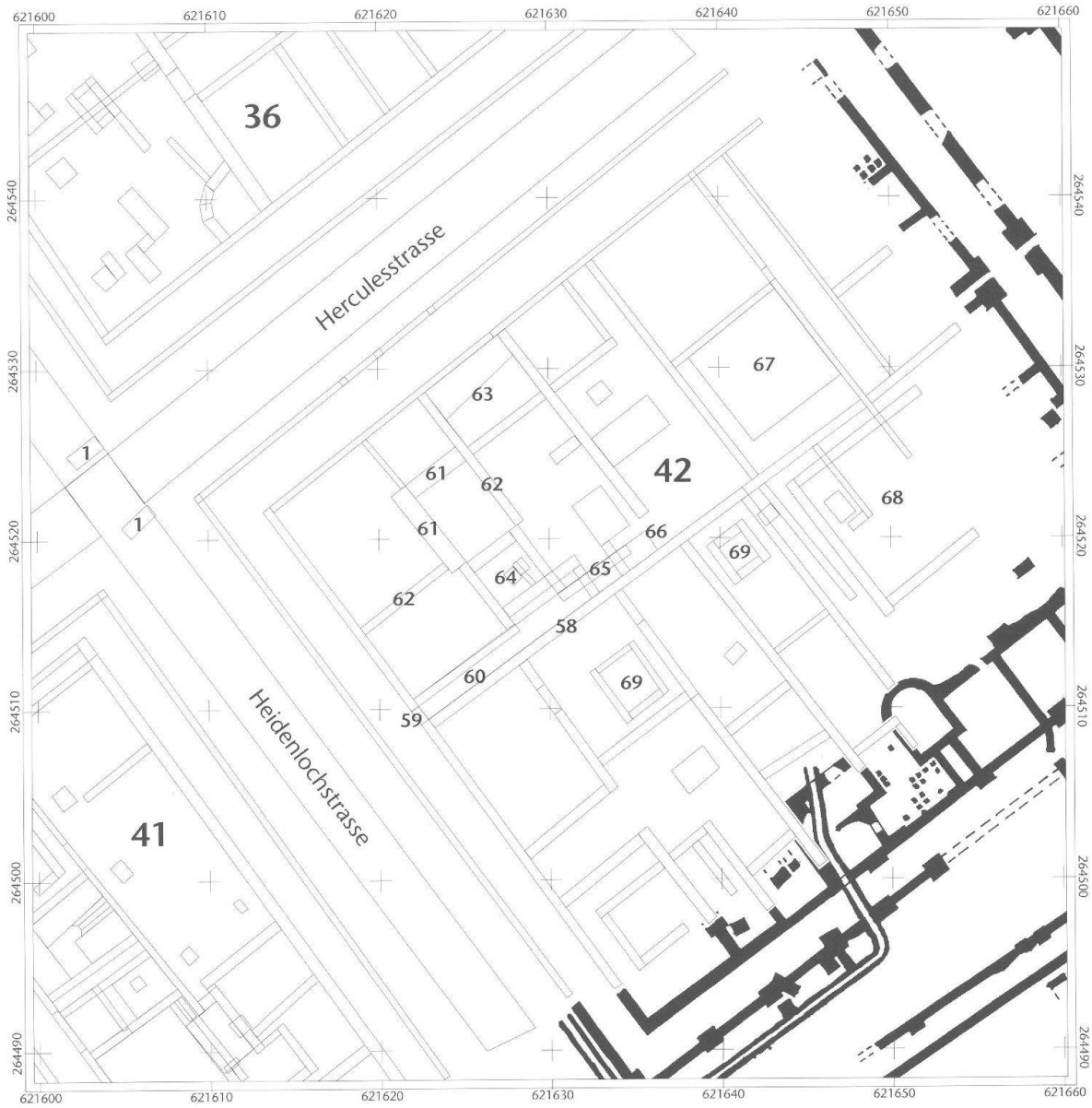


Abb. 17: Augst. Ansprache der Strukturen der insula *42 (die kleinen Nummern sind im Text S. 64 f. erläutert). M. 1:400.*

Überprüfung der Resultate

An verschiedenen Stellen bot sich die Möglichkeit, die Bodenradardaten mit den tatsächlichen Verhältnissen zu vergleichen. Als Erstes fällt auf, dass *keine Hinweise auf die frühen Holzbauten* aus den Daten abgelesen werden können. Dies ist verständlich, da die Balkengräben einerseits sehr tief liegen und daher nur schwache Signale erzeugen und andererseits oft durch jüngere Phasen gestört sind. Bei einem Vergleich mit den Ausgrabungsresultaten fällt auf, dass die besonders in römischer Zeit ausgeprägten Kulturschichten nicht abgebildet werden. Offensichtlich reichen die physikalischen Unterschiede nicht aus, um messbare Reflexionen zu erzeugen. Mit Hilfe des Bodenradars konnten jedoch verschiedene *Böden und Gehhorizonte* erfasst werden. Auffällig ist, dass in etlichen Fällen die einen Raum begrenzenden Mauern nicht bis auf den dazugehörenden

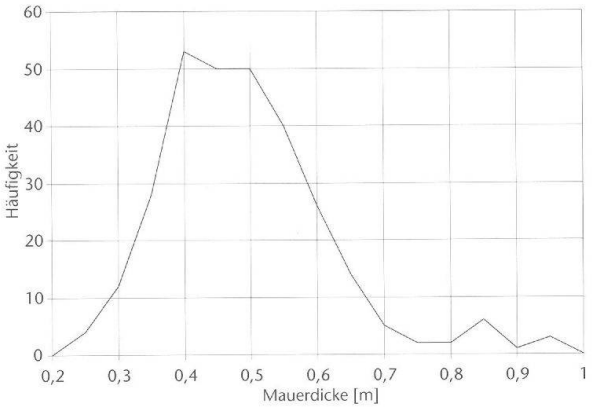


Abb. 18: Augst, insulae *34–36 und 40–42. Häufigkeit der Mauerdicken auf Grund der Bodenradarmessungen.*

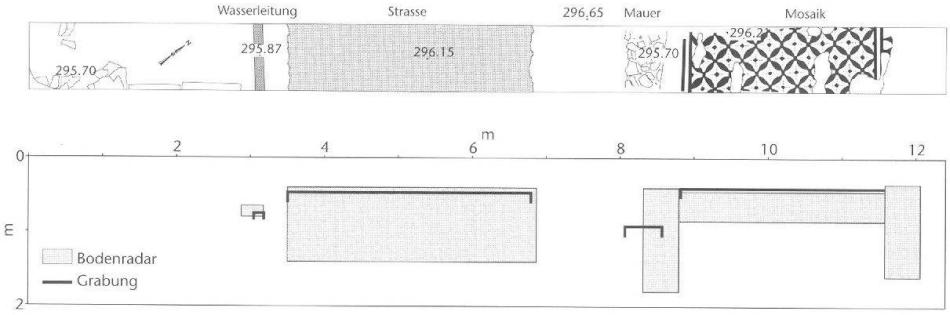


Abb. 19: Augst, Grabung 1978.56, insulae *41/47, «Palazzo». Planum (oben) und Profil (unten) des Sondierschnitts 17 (vgl. Anm. 15). Die Differenzen sind – bis auf die Position der Mauer (siehe dazu den Text) – minimal und innerhalb der Auflösung der Methode. M. 1:100.*

Boden hinunterreichen, sondern bereits vorher enden. Bei Testmessungen konnte bestätigt werden, dass unter einem starken Reflektor, wie sie eine Maueroberkante darstellt, die Signale sehr stark reduziert sein können[15]. Dadurch werden die Amplituden der Wellen so schwach, dass sie sich nicht mehr registrieren lassen.

Eine geometrische Gegenüberstellung der archäologischen und geophysikalischen Daten zeigt, dass die Abweichungen in allen drei Dimensionen im Durchschnitt kleiner als 10 cm sind. Die horizontalen Differenzen lassen sich sehr gut an den Interpretationen nachvollziehen. Im Bereich des «Palazzo» (*insulae* 41/47) wurde ein Sondierschnitt angelegt[16], der es erlaubt, die Resultate auch in der Tiefe zu vergleichen (Abb. 19): Auch hier erkennt man die hohe Auflösung und Genauigkeit des Bodenradars. Die unterschiedlichen Oberkanten der Mauer lassen sich vermutlich damit erklären, dass die Mauer im Bereich des Schnittes bereits relativ stark abgetragen wurde, während mit den Bodenradarmessungen auch das lockere, darüber liegende Ausbruchmaterial erfasst wurde.

Zusätzlich zu den Messungen auf dieser Teilfläche des «Palazzo» wurde am Rand einer 300 m nordwestlich gelegenen, laufenden Grabung bei den Frauenthermen 1996 (*insula* 17) gezielt ein einzelnes Profil aufgenommen (Abb. 20, oben)[17]. An diesem Beispiel lassen sich die Resultate einer modernen Untersuchung mit der geophysikalischen Prospektionsmethode vergleichen (Abb. 20, unten). Allerdings konnte dieses Profil nur zweidimensional verarbeitet (migriert) werden. Die Grenze der Humusschicht zeichnet sich als starke Reflexion ab. Darunter, bei Meter 7,5–8,5, erkennt man die Signale der Mauer. Die starken Amplituden beschränken sich aber im Wesentlichen auf die äusseren Bereiche der Konstruktion, aus dem Inneren konnten keine Reflexionen registriert werden. Dabei handelt es sich um ein für den Bodenradar sehr typisches Bild, da nur die Aussenflächen gut reflektieren. Ein Teil der stark nach innen reichenden Signale auf der linken Seite dürfte aber auf die eingebauten Sandsteinspolien zurückzuführen sein. Links der Mauer zeichnet sich der Mauerversturz ebenfalls sehr gut ab. Auf der rechten Seite hingegen erkennt man einerseits die Betonfüllung, die wiederum Reflexionen nur an den Aussenseiten aufweist, und eine markante Schichtgrenze in der Verfüllung mit Schutt. Diese zeichnete sich offensichtlich während den Ausgrabungen nicht so deutlich ab wie in den Radardaten.

Ausblick

Damit das Informationspotenzial der Bodenradarmethode ausgenützt werden kann, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: Zum einen muss der Messraster genügend dicht sein, und zum anderen müssen die Daten einer – aus geophysikalischer Sicht umfassenden – Datenverarbeitung unterzogen werden. Bei Letzterer ist die Migration ein sehr wichtiger Schritt. Wenn diese Regeln befolgt werden, so liefert die Methode, wie hier gezeigt wurde, dreidimensionale Informationen des Untergrundes bei einer sehr hohen Auflösung, die im Zentimeterbereich liegt. Die Datenmenge ist so hoch, dass nur mit Hilfe einer dreidimensionalen Visualisierung die Zusammenhänge der einzelnen Reflektoren verstanden werden können.

Da bei den Bodenradarmessungen verschiedene physikalische Phänomene auftreten, ist eine *Interpretation* der Daten unumgänglich. Sie muss natürlich, wie bereits die Visualisierung, dreidimensional erfolgen. Die so gewonnenen Resultate sind gut leserlich und zeigen den Umfang der archäologischen Überreste deutlich auf.

Im Gegensatz zu anderen geophysikalischen Prospektionsmethoden lassen sich nicht nur Mauerzüge, sondern

15 Leckebusch 1997 und 2001 (Anm. 7).

16 Grabung 1978.56; vgl. Tomasevic (Anm. 3) bes. Plan 6, langer Schnitt links aussen.

17 Grabung 1996.61, Augst-«Schmid», Profil 4: P.-A. Schwarz, Ausgrabungen in Augst im Jahre 1996. Jahresber. Augst u. Kaiseraugst 18, 1997, 39–97 bes. 59 ff. Abb. 21–36. – Dieses digitale Profil (Abb. 20, unten) konnte auf Grund der Grabungsunterlagen erstellt werden, die mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden.

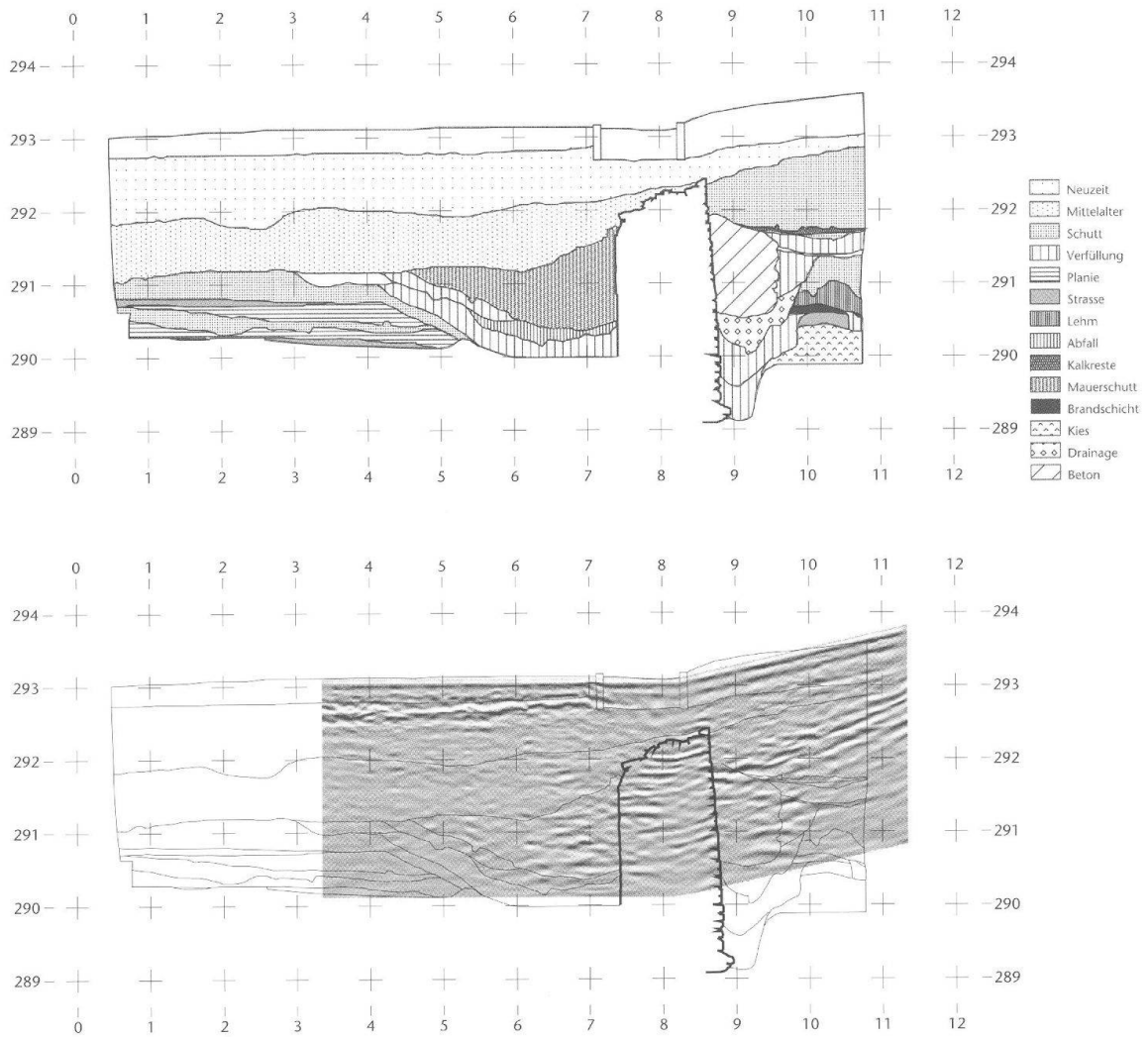


Abb. 20: Augst, Grabung 1996.61, Frauenthermen. Schematisiertes Grabungsprofil 4 (oben) und dazugehörendes Radarprofil (unten). Die Mauer wird beinahe perfekt in den Bodenradardaten abgebildet. M. 1:100.

auch einzelne Pfeiler oder antike Leitungen mit ihren einzelnen Elementen abbilden. Deshalb handelt es sich beim Bodenradar um eine der besten Möglichkeiten, hoch auflösende Informationen der archäologischen Strukturen zu gewinnen. Auf Grund der Angaben über die Tiefe und die Ausdehnung kann einerseits der Erhaltungsgrad der Strukturen eruiert werden, und andererseits lassen sich die bei einer Ausgrabung anfallenden Kubaturen abschätzen. Neben der reinen Inventarisierung eignen sich die Resultate der Methode auch als Planungsinstrument für Grabungen, etwa zur optimalen Platzierung von Grabungs-Teilflächen und Profilfluchten.

Meist wird der Bodenradar auf relativ kleinen Flächen eingesetzt. Am Beispiel von Augusta Raurica konnte nun jedoch gezeigt werden, dass auch grossflächige Anwendungen möglich sind. Die dabei gewonnene Informationsdichte ist durchaus mit einem generalisierten Grabungsplan zu vergleichen (Abb. 10).

Abbildungsnachweis

Abb. 1:
Plan modifiziert nach A. R. Furger/P. Zsidi (Hrsg.), Römerstädte in neuem Licht. Das Leben in Augusta Raurica und Aquincum (Basel 1997) 94.

Abb. 2:
Foto Roger Knecht, Kantonsarchäologie Zürich.

Abb. 3–5; 7–18:
Digitale Datenerfassung, -verarbeitung und -darstellung Jürg Leckebusch.

Abb. 6:
Luftaufnahme Schweizer Militärflugdienst (#162362 vom 26.09. 1962), Archiv Ausgrabungen Augst/Kaiseraugst; digitale Datenerfassung, -verarbeitung und -darstellung Jürg Leckebusch.

Abb. 19:
Feldaufnahme oben Ines Horisberger; digitale Datenerfassung, -verarbeitung und -darstellung Jürg Leckebusch.

Abb. 20:
Feldaufnahme Markus Schaub; digitale Datenerfassung, -verarbeitung und -darstellung Jürg Leckebusch.