

Radartomographie der römischen Villa in Epfendorf

HARALD VON DER OSTEN-WOLDENBURG

Zusammenfassung

Akute Gefährdung aufgrund intensiver landwirtschaftlicher Nutzung im Bereich der römischen Villa in Epfendorf führte 1996 zu einer mehrwöchigen Grabung, die in einem größeren Sondageschnitt der Fläche 35 x 6 m einen Teil des Baubefundes freilegen konnte. Um Informationen über den Grundriß des gesamten Gebäudes zu erhalten, wurden nach den Ernten 1997 und 1998 geoelektrische Prospektionen durchgeführt. Da bereits 1997 bei diesen Messungen positive Resultate erzielt werden konnten, wurde noch im selben Jahr das Hauptgebäude zusätzlich mit dem Bodenradar untersucht. Denn das Radargramm beinhaltet eine Vielzahl von Informationen, die Hinweise auf Strukturen in verschiedenen, diskreten Tiefen liefern. Die Messungen mit dem Bodenradar haben ferner den Vorteil, daß sich aus den in den Profilebenen erfaßten Datensätzen dazu senkrecht angeordnete Schnitte jeder beliebigen Tiefe berechnen lassen. Für das in diesem Aufsatz vorgestellte Auswerteverfahren werden diese Zeitscheiben miteinander derart kombiniert, daß eine Struktur, die sich bereits in den tiefenabhängigen Zeitscheiben abbildet, dreidimensional dargestellt werden kann. Mit den in Epfendorf aufgezeichneten Daten wurde erstmals versucht, Mauern von dem Mutterboden, in dem sie eingebettet sind, rechnerisch zu separieren und unter einem beliebig wählbaren Blickwinkel dreidimensional darzustellen. Da dieses Verfahren der medizinischen Computertomographie sehr ähnlich ist, sei es analog dazu als Radartomographie bezeichnet.

Die Villa rustica von Epfendorf

Spätestens seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts ist die römische Siedlungsstelle auf einer 150 m über dem Neckartal gelegenen Hochfläche bekannt. In der Oberamtsbeschreibung von 1868¹ wird erwähnt, daß auf dem Gewann Harrenberg, nahe dem Rindenhof, „untrüglige Spuren eines abgegangenen Römerorts“ häufig zu Tage kämen. Da laut Oberamtsbeschreibung an dieser Stelle ein „Kloster gestanden sein soll“, ist anzunehmen, daß diese Fundstelle schon wesentlich früher bekannt, jedoch nicht als römischen, sondern als kirchlichen Ursprunges interpretiert worden war. Diese Interpretation wurde noch in das Verzeichnis der römischen Siedlungen in Württemberg und Hohenzollern² übernommen. In diesem Verzeichnis findet auch Erwähnung, daß Prof. NÄGELE von der Reichslimeskommission 1897 auf einer Fläche von 50 x 85 m die Grundmauern eines römischen Gebäudes feststellte. Auch heute noch lassen Oberflächenfunde römischer Ziegel und Gefäße sowie topographische Auffälligkeiten die Lage dieses Gebäudes recht genau bestimmen. Eine zweite künstliche Erhebung ist etwa 40 m südlich dieses Gebäudes zu erkennen, und es sprach bereits vor der Durchführung der Prospektionen vieles dafür, daß an dieser Stelle ein weiteres Gebäude vorhanden sein könnte.

Die Lage der römischen Villa war somit bekannt, nicht jedoch deren Grundriß. Zwar wird berichtet, daß die Reichslimeskommission Grundmauern eines römischen Gebäudes feststellen konnte. Aber

1 Beschreibung des Oberamts Oberndorf (Stuttgart 1868) 226.

2 O. PARET, Die Siedlungen des römischen Württemberg. Die Römer in Württemberg III (Stuttgart 1932) 302.

offensichtlich wurde nicht flächig, sondern nur in Bereichen erhöhter Dichte von Oberflächenfundgraben: Die Kommission ordnete eine Grundfläche von 50 x 85 m einem einzigen römischen Gebäude zu. Doch wie wir in der Abbildung 1 zeigen können, sind in dieser Fläche zwei Gebäude vorhanden, zwischen denen es keinerlei Verbindungen baulicher Art gibt.

Ein Teil des Grundrisses des Gebäudes wurde während einer Sondagegrabung auf einer Fläche der Breite von 6 m und der Länge von 35 m im Sommer 1996 freigelegt.³ In manchen der dabei angeschnittenen sechs Raumeinheiten konnten Reste eines Estrichbodens nachgewiesen werden. Zudem zeigte es sich, daß das römische Fußbodenniveau innerhalb des Gebäudes terrassenartig angelegt war, um die Höhenunterschiede des nach Norden abfallenden Geländes innerhalb des Hauses ausgleichen zu können.

Geoelektrische Kartierung

Im Herbst 1997 führten wir im Gewann Harrenberg eine geophysikalische Prospektion durch, bei der u. a. das bereits von der Reichslimeskommission erwähnte Gebäude vollständig geoelektrisch kartiert wurde. Den Ergebnissen dieser Messungen zufolge handelt es sich bei diesem Haus um das Hauptgebäude der römischen Anlage. Im folgenden wird dieser Befund daher als Hauptgebäude angesprochen.

Diese geoelektrischen Messungen beschränkten sich jedoch nicht nur auf den Bereich dieser Villa, vielmehr wurde nach weiteren Gebäuden und nach der Umfassungsmauer dieser Siedlungsstätte gesucht. Bedingt durch die damals vorhandene bzw. anstehende landwirtschaftliche Nutzung mußte die Prospektion für ein Jahr unterbrochen werden und konnte im Herbst 1998 auf weiteren Äckern fortgeführt und zumindest vorläufig zum Abschluß gebracht werden.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen – das Resistogramm – ist digital in das entsprechende Luftbild eingearbeitet worden (Abb. 1). Eindeutig konnten dabei bislang nur zwei Gebäude der Villa rustica nachgewiesen werden: das Hauptgebäude, auf der Nordseite des Feldweges gelegen, der die Meßfläche in etwa in Ost-West-Richtung in zwei Bereiche aufteilt, und – etwa 40 m südlich dieses Gebäudes – ein Nebengebäude ohne Raumaufteilung mit einer Grundfläche von etwa 17 x 10 m.

In der Meßfläche südlich des Feldweges sind außer dem Nebengebäude keinerlei Informationen über eine weitere römische Bebauung zu erkennen. Schwach ausgeprägte, hellere diffuse Strukturen sind eindeutig auf die Geologie zurückzuführen, die beiden dunkleren Bereiche nahe dem Westrand dieser Fläche auf lokal eng begrenzte Bereiche erhöhten Feuchtigkeitsgehaltes. Auf Höhe des Nebengebäudes wurde in einer Breite von 60 m die Meßfläche nach Süden hin um 20 m verlängert, um nach Möglichkeit die gesuchte Umfassungsmauer kartieren zu können. Dieser ‚Meß-Suchschnitt‘ wurde bis an die – zumindest im Herbst 1998 vorhandene – Ackergrenze fortgeführt. Eine weitere Fortführung nach Süden hin war wegen einer noch vorhandenen Bepflanzung im daran anschließenden Acker nicht möglich.

Ein Jahr zuvor – nach der Ernte 1997 – war der Bereich nördlich des Feldweges Gegenstand geoelektrischer Prospektionen. Dabei wurde im Mittel eine Fläche der Größe 290 x 120 m bis zu einer Tiefe von etwa 0,8 m untersucht. Aufgrund der 1997 anstehenden landwirtschaftlichen Arbeiten konnte nach Norden bis zum Waldrand nur ein 20 m breiter Suchschnitt gemessen werden, um eventuell Spuren einer Umfassungsmauer zu finden. Aber auch hier – wie im Jahr später im nach Süden bis zur dortigen Ackergrenze fortgeführten Suchschnitt – konnten keine Hinweise auf die Existenz einer Umfassungsmauer gefunden werden. Für den Fall, daß diese römische Villa mit einer Palisade eingezäunt war, wurden ergänzend geomagnetische Prospektionen durchgeführt. Doch auch mit diesen Messungen konnte eine Umzäunung der römischen Siedlungsstätte nicht nachgewiesen werden.

3 P. H. F. JAKOBS, Eine römische Villa rustica in Epfendorf, Kreis Rottweil. Arch. Ausgr. Baden-Württemberg 1996, 171 ff.



Abb. 1 Ergebnis der geoelektrischen Prospektion, digital eingebunden in ein Luftbild.

Die in der Abbildung 1 sichtbaren helleren, großflächigen Bereiche dürften wohl eher auf geologische Strukturen, als auf Reste von Fundamentierungen weiterer Gebäude zurückzuführen sein. Die parallelen, schwach ausgeprägten Lineamente entsprechen Beackerungs-Spuren.

Das Hauptgebäude

Das Gelände fällt im Bereich des Hauptgebäudes nach Westen und Osten, besonders jedoch nach Norden hin ab. Auf einer Fläche der Größe 50 x 40 m wurden Höhenmessungen im Zwei-Meter-Raster durchgeführt. Die mit diesen Werten beschriebene Topographie ist in der Abbildung 2 darge-

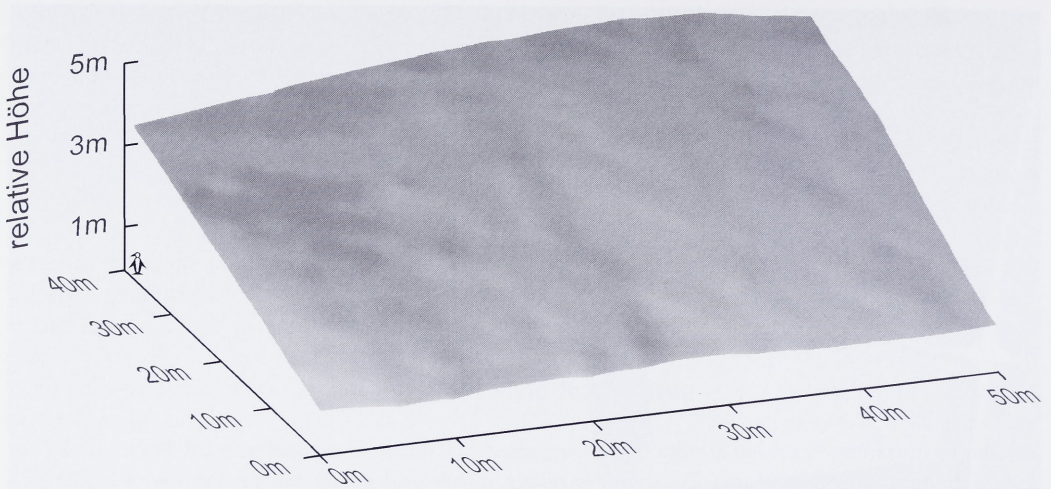


Abb. 2 Topographie des Bereiches des Hauptgebäudes. Relative Höhenangaben, 30fach überhöht dargestellt.

stellt.⁴ Die Neigung des Geländes nach Norden hin ist groß: Innerhalb einer Breite von 40 m haben wir einen Höhenunterschied von etwa 4 m bestimmen können.

Das Resistogramm der geoelektrischen Prospektion des Hauptgebäudes (Abb. 3) ist horizontal korrigiert. Dabei wurden die Ortskoordinaten der auf der geneigten Oberfläche gemessenen spezifischen elektrischen Widerstandswerte in die Ortskoordinaten einer ebenen, horizontalen Fläche projiziert und das in der Abbildung 3 dargestellte Resistogramm dementsprechend entzerrt. Aufgrund der gewählten Sonden-Anordnung konnten Strukturen bis in eine Tiefe von knapp 80 cm erfasst werden. Wie bei der Radarprospektion verifiziert werden konnte, befinden sich sämtliche archäologischen Strukturen innerhalb dieses Tiefenintervalls. Die geoelektrische Kartierung ist ein integrales Verfahren, d. h. die Informationen über die elektrischen Leitfähigkeiten aller in diesem Tiefenintervall vorhandenen Strukturen fließen in einen Wert mit ein. Deshalb ist in diesem Resistogramm eine bei JAKOBS⁵ erwähnte terrassenförmige Abstufung der Arbeits- und Gehhorizonte zwischen den verschiedenen Räumen des Gebäudes nicht zu erkennen. Diese Abstufung wird erst in den Daten der Radarprospektion sichtbar (Abb. 4).

Der sechs Meter breite Sondageschnitt der Grabung von 1996 zeichnet sich im Resistogramm durch einen Bereich hellerer Graustufen ab. Ganz offensichtlich wurde der Sondageschnitt nach Beendigung der Ausgrabung wieder mit dem Grabungsschutt verfüllt. Im Norden des Gebäudes, entlang seiner Außenwand und vor allem um die nordöstliche Ecke des Gebäudes, fällt ein zum Außenbereich hin scharf abgegrenzter, dunkler Bereich auf. Hier dürften die geoelektrisch erfassten, im Resistogramm als Zonen erhöhten Feuchtigkeitsgehaltes sich abzeichnenden Strukturen auf eine mögliche, von den Römern errichtete Geländestufe außerhalb des Hauses hinweisen. Auffällig ist auch der an der Ostseite an das Haus angebaute Raum der Größe von etwa 2 x 4 m. Es ist denkbar, daß es sich in diesem Bereich des Hauses um ein Bad handelt.⁶ PARET⁷ beschreibt die Lage dieses Gebäudes als Stelle, die am Nordrand der Hochfläche liege und eine im Norden gegen eine Quelle vortretende

4 Wir haben nur relative Höhenunterschiede zwischen einem beliebig gewählten Referenzpunkt und der im Zwei-Meter-Raster abgetasteten Topographie mit dem Ni 2 von Zeiss aufgenommen. Aus diesem Grunde sind in dieser Abbildung nur relative Höhenwerte angegeben. Eine genaue Höhenbestimmung war für unsere Zwecke auch nicht notwendig, da die Topographie lediglich zur Anpassung der Radarprofile als relative Bezugshöhe genutzt wurde.

5 wie Anm. 3.

6 M. N. FILGIS, pers. Mitteilung, Juni 1999.

7 wie Anm. 2.

Terrasse bilde. Auch wenn diese Quelle heute versiegt ist, so ist es durchaus denkbar, daß zur römischen Zeit ein in dem Hauptgebäude integriertes Bad mit Frischwasser versorgt wurde, das von einer nahegelegenen Quelle stammte. Im Resistogramm sind zudem in einigen Räumen Reste von Estrichen bzw. Fußböden eindeutig zu erkennen.

Bodenradar-Prospektion

Für die Messungen mit dem Bodenradar-System wurde eine Fläche von 50 x 38,5 m gewählt, in der das Hauptgebäude mit Hilfe der geoelektrischen Messungen lokalisiert werden konnte. Die Einschränkung in der Nord-Süd-Richtung auf 38,5 m wurde durch den Feldweg am Südrand dieser Fläche, die in das Meßraster der geoelektrischen Prospektion eingehängt wurde, vorgegeben. Eine Messung auf dem Feldweg wäre zwar möglich gewesen, doch konnte bei der geoelektrischen Prospektion festgestellt werden, daß sich keinerlei römische Mauern bis an den Feldweg heran, geschweige denn unter dem Feldweg weiter verfolgen ließen. Da sich zudem die auf dem Feldweg gemessenen Kontraste von den im Acker erfaßten Kontrastverhältnissen in der Regel signifikant unterscheiden, hätten sie sich in der geplanten 3D-Darstellung dieses Gebäudes eher als störend ausgewirkt. Auf eine Messung in diesem Bereich wurde deshalb verzichtet. Die mit dem Radar überstrichene Fläche ist identisch mit der in der Abbildung 2 dargestellten Topographie.

Innerhalb dieser Meßfläche wurden entlang von 178 Profilen Radarmessungen durchgeführt. Dieser Prospektion lag ein orthogonales Profilsystem mit einem Profilaabstand von 0,50 m zugrunde.

Nach der Durchführung mehrerer Bearbeitungsschritte wie Filterungen, Migration, Dekonvolution etc. und nach der topographischen Geländekorrekture aller Radarprofile konnte die Berechnung von Zeitscheiben erfolgen. Dabei werden die Informationen, die in den senkrecht zur Oberfläche gemessenen Profilschnitten vorhanden sind, in dazu senkrechte Ebenen projiziert, deren Tiefenlagen frei wählbar sind. Ausgewählte Ergebnisse dieser Rechenoperationen werden in der Abbildung 4 vorgestellt. Diese einzelnen Teilabbildungen beinhalten somit die laterale Verteilung prospektierter

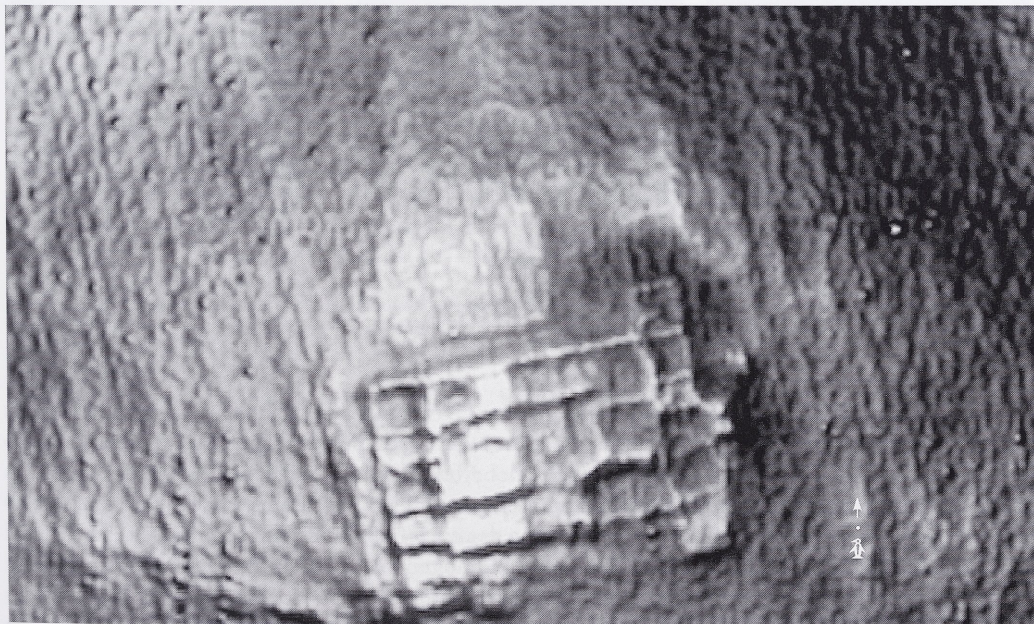


Abb. 3 Resistogramm des Hauptgebäudes.

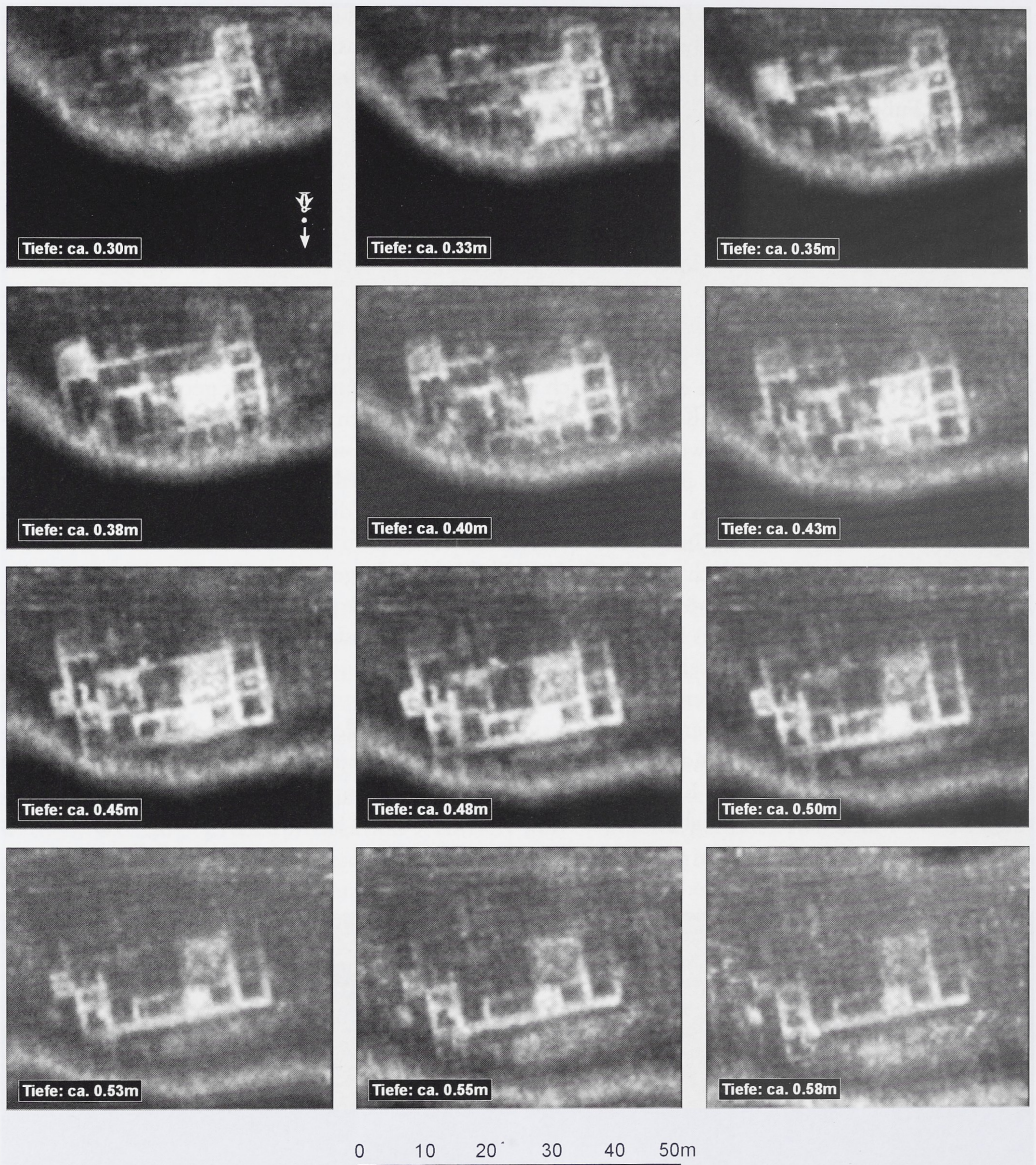


Abb. 4 Verschiedene Horizontal-Schnitte durch die noch vorhandenen Mauerreste der römischen Villa in unterschiedlichen Tiefen.

Inhomogenitäten innerhalb eines bestimmten Höhen-Niveaus. Diese Ebene ist bei geneigter Erdoberfläche nicht zu der Ebene des heutigen Gehhorizontes parallel. Die Tiefe der entsprechenden Zeitscheibe ist in den einzelnen Teilabbildungen der Abbildung 4 angegeben.

Im Gegensatz zum Resistogramm der Abbildung 3 ist in den ausgewählten Zeitscheiben die bei der Ausgrabung entdeckte terrassenförmige Abstufung der einzelnen Räume untereinander deutlich zu erkennen. Zudem zeichnen sich in diesen Teilabbildungen die noch vorhandenen Estriche oder Fußböden signifikant ab. Der Bereich des Grabungsschnittes von 1996 hebt sich aufgrund des wieder in die Grabungsfläche deponierten Schuttes der Ausgrabung von seiner Umgebung vor allem in den nahe der Erdoberfläche gelegenen Zeitscheiben ab. Im Resistogramm bildet sich diese ehemali-

ge Grabungsfläche als Areal erhöhter Helligkeit aus (vgl. Abb. 1). Die etwas diffus ausgebildete, dennoch deutlich genug zu erkennende gebogene Struktur, deren Lage sich mit zunehmender Tiefe immer weiter vom Hauptgebäude entfernt, wurde in den Radargrammen durch Oberflächeneffekte verursacht und hat somit keinerlei archäologische Bedeutung. Für die weitere Verarbeitung wurde diese Anomalie aus den Datensätzen herausgefiltert. Den Zeitscheiben können ferner die ortsabhängige Tiefenlage der Mauerkronen und ihrer Fundamente, somit die noch vorhandenen Höhen der einzelnen Mauerabschnitte entnommen werden.

Vom Pixel zum Voxel

Aufgrund des Ergebnisses der Sondagegrabung und der geoelektrischen Prospektion wurde das Hauptgebäude der römischen Siedlungsstätte Epfendorf als Fallbeispiel für die Radartomographie ausgewählt. Der Grundgedanke für die in den nächsten Absätzen beschriebene Vorgehensweise war der folgende:

In der Computertomographie werden Informationen, die in verschiedenen Ebenen senkrecht zur Längsachse des durchstrahlten Körpers gewonnen werden, zu dreidimensionalen Darstellungen umgerechnet. Bei der Radarprospektion erhalten wir durch die Berechnung der Zeitscheiben (Abb. 4) Schnitte senkrecht zu den gemessenen Profil-Ebenen in frei wählbaren Tiefen. Analog zur Computertomographie sollte es also möglich sein, Strukturen der mit dem Bodenradar in unterschiedlichen Tiefen erfaßten Inhomogenitäten ebenfalls dreidimensional präsentieren zu können. Den Datensät-



Abb. 5 Aufsicht und Unterseite des Hauptgebäudes.

zen könnten damit weitere Informationen über die im Boden verborgenen archäologischen Objekte entnommen werden. Denn oft kann die Orientierung dreidimensionaler Strukturen in den gängigen zweidimensionalen Darstellungen nicht zufriedenstellend erkannt werden.

Grundlage für die weitere Bearbeitung bilden somit die errechneten Zeitscheiben, deren Bedeutung horizontalen Schnittflächen durch das Hauptgebäude in unterschiedlichen Tiefen entsprechen. Ziel ist es, diese aus Pixeln (Bildpunkten) bestehenden Ebenen räumlich derart zueinander anzuordnen und miteinander zu kombinieren, daß ein dreidimensionales Gebilde entsteht, dessen Grundelemente Voxel (Volumen-Elemente) sind. Geometrisch gesehen entspricht ein Voxel einem Würfel der Einheits-Kantenlänge, der parallel zu den karthischen Koordinaten-Achsen ausgerichtet ist.



Abb. 6 Hauptgebäude der römischen Villa, aus zwei verschiedenen Blickwinkeln gesehen (obere und mittlere Teilabbildung), sowie in einer Darstellung mit geringerer Transparenz.

Rechnerisch wird ein Voxel als Vektor beschrieben, dem eine physikalische Eigenschaft des darzustellenden Körper-Elementes zugeordnet wird (z. B. Dichte, in unserem Beispiel Reflektivität). Bei den Rechenschritten zur Darstellung (Rendering) werden diesen Vektoren unterschiedliche Werte für deren Grad an Transparenz zugewiesen. Dies geschieht im vorliegenden Fall auf Grundlage ihrer Reflektivitäten, die bei den Radarmessungen bestimmt worden sind. Jedem einzelnen Vektor wird in einem weiteren Bearbeitungsschritt ein Wert zugeordnet, der die physikalische Eigenschaft beschreibt, wie stark ein auf dieses Volumenelement auftreffendes Licht innerhalb dieses Volumenelementes absorbiert wird. Die Werte zwischen Null (entspricht vollständiger Transparenz) und Eins

(Undurchsichtigkeit) beschreiben letztendlich Isoflächen: Durch Wahl der Bandbreite der Transparenz können somit bestimmte Strukturen bzw. Teilvolumina als opak dargestellt, andere Strukturen als durchsichtig behandelt werden.

Für das Voxel-Rendering wurde Code aus entsprechenden Shareware-Programmen (wie POV, Obsidian und OTMVoxel) verwendet, an unsere Fragestellung angepaßt und auf der UNIX Workstation mit 384 MB RAM implementiert. Dabei kamen die Fortran und C-Compiler von GNU, g77, gcc und g++ zum Einsatz. Die Wahl des Beobachtungswinkels ist interaktiv durch Anklicken des Bildes und entsprechender Bewegung mit einem Computer-Zeiger möglich und basiert auf dem sogenannten ‚trackball‘-Algorithmus.⁸

Die Festlegung der als transparent zu behandelnden Bereiche erfolgte auf Grundlage des Histogrammes. Nicht ausgewählte Bereiche wurden als opak definiert. Diese opaken Strukturen repräsentieren vor allem die Mauern, aber auch Teile der Geologie. Die ideale Abtrennung der Geologie von der Archäologie ist im vorliegenden Fall nicht möglich gewesen, da sich beide Bereiche hinsichtlich der Bandbreite ihrer Reflektivitäten teilweise überschneiden. Die vollkommene Trennung der archäologischen Struktur von der Geologie ist zwar in jedem Bereich des Hauptgebäudes möglich. Doch geht dies an anderer Stelle auf Kosten der Mauerstrukturen: Dabei wird zwangsweise in einem anderen Bereich ein Teil der Archäologie rechnerisch als durchsichtig behandelt, d. h. aus der Darstellung entfernt.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Mauerstrukturen des Hauptgebäudes aus jeweils zwei verschiedenen Blickrichtungen. In der Abbildung 5 rechts wird die Aufsicht, in der linken Teilabbildung der Blick ‚von unten‘ in die Struktur gezeigt. Die Separierung der Geologie von der Archäologie ist im vorliegenden Fallbeispiel aus den eben genannten Gründen nicht ganz einfach und konnte nicht an allen Bereichen des Gebäudes einwandfrei durchgeführt werden.

Ein Teil der Geologie ist in der linken Teilabbildung anhand der parallelen Schichtung des Kalkgesteines im oberen Bereich erkennbar. Dieser Bereich fällt zudem durch Kompaktheit in seinen Strukturen auf. Hier befindet sich der Grabungsschnitt von 1996 und somit der bei der Ausgrabung angefallene Schutt, der ganz offensichtlich in die Grabungsfläche wieder eingefüllt worden ist. Die Strukturen, die außerhalb dieses Gebäudes entlang zweier parallel zueinander angeordneter Lineamente zu erkennen sind, basieren auf dem Unterbau des nahe am Gebäude vorbeiführenden asphaltierten Feldweges.

Zwei weitere Ansichten des römischen Hauptgebäudes aus unterschiedlichen Höhen und Blickwinkeln enthält die Abbildung 6 (obere und mittlere Teilabbildung). Bei der Berechnung der unteren Teilabbildung wurde die Bandbreite der als opak zu beschreibenden Reflektivitäten nur geringfügig verbreitert. Die Veränderung in der Darstellung ist hingegen signifikant: Die vollständige Separierung der archäologischen Struktur von der Geologie ist nur noch in wenigen Bereichen des Gebäudes möglich, dafür bildet sich auf der Südseite der Villa ein Außenraum fast vollständig ab. In den oberen Teilabbildungen sind hingegen nur die Ecken dieses Außenraumes zu erkennen.

Durch die mögliche freie Wahl des Beobachtungsortes ist es auch denkbar, bei expliziter Bestimmung der Trajektorie (Flugbahn) und somit der zeitabhängigen Lage des Beobachtungspunktes eine Reihe radartomographischer Abbildungen berechnen und zu einem MPEG-File zusammenfassen zu können. Damit sollte es möglich sein, einen imaginären Flug über und durch eine archäologische Struktur zu simulieren.

⁸ R. KLETTE/P. ZAMBERONI, Handbuch der Operatoren für die Bildbearbeitung (Braunschweig, Wiesbaden 1992). – J. C. RUSS, The Image Processing Handbook (Boca Raton, Florida 1998).

Anschrift des Verfassers

Dipl.-Geophys. Univ. HARALD VON DER OSTEN
Landesdenkmalamt Baden-Württemberg
Archäologische Denkmalpflege
Silberburgstraße 193
70178 Stuttgart
E-mail: hvdosten@lb.netic.de

Schlagwortverzeichnis

Geophysik; Geoelektrik; Bodenradar; Tomographie; römische Villa, Epfendorf.