Geophysikalische Prospektion keltischer Fundplätze

Harald von der Osten-Woldenburg

Grundlagen

Wann auch immer der Mensch Eingriffe in den Boden vorgenommen hat – er hinterließ dabei Spuren unterschiedlichster Art, die auch heute noch dort archiviert sind, sofern sie nicht in späterer, zumeist in jüngster Zeit durch Neubauten überprägt wurden oder durch Erosionsvorgänge gänzlich verschwunden sind.
Um diese – für unsere Augen zunächst unsichtbaren – archäologisch relevanten Strukturen im Untergrund mithilfe geophysikalischer Untersuchungsmethoden sichtbar machen zu können, muss hinsichtlich einer beliebigen physikalischen Eigenschaft ein genügend hoher Kontrast zwischen dem Erdreich und den in ihm eingebetteten archäologischen Objekten – den Spuren, die uns der Mensch beispielsweise in keltischer Zeit hinterlassen hat – vorhanden sein. Genügend hoch bedeutet, dass der Kontrast größer sein muss als das Auflösungsvermögen der eingesetzten technischen Apparatur. Da meistens im Vorfeld von Untersuchungen nicht bekannt ist, welche der physikalischen Eigenschaften des Untergrundes diese Kontraste aufweisen, bedient man sich verschiedener geophysikalischer Verfahren, die jeweils mindestens eine spezifische physikalische Eigenschaft des Untergrundes ermitteln. Die Messwerte, umgesetzt in Graustufen- oder Falschfarbenbilder, dokumentieren so die räumliche, je nach Verfahren auch dreidimensionale Ausdehnung aller möglichen Arten von Spuren menschlicher Kultur aus keltischer Zeit. Zugleich ermöglichen sie eine Georeferenzierung ihrer Lage.

1 4-Kanal Magnetometer. Mit diesem Gerät wird das bodennahe Erdmagnetfeld und damit das magnetische Abbild unterirdischer, bodennaher geologischer und archäologischer Strukturen erfasst.

Die geophysikalischen Prospektionsmethoden und deren Instrumentarien

Geomagnetische Kartierung

Das am häufigsten in den archäologischen Wissenschaften eingesetzte geophysikalische Verfahren ist das der geomagnetischen Prospektion. Mit zumeist mehreren Sonden (Abb. 1) wird bei dieser Untersuchungsmethode das Erdmagnetfeld nahe der Bodenoberfläche gemessen. Unterscheiden sich die Magnetisierungen des Untergrundes von den Magnetisierungen der Materialien, aus denen die Reste abgegangener Siedlungen bestehen, so bilden sich im bodennahen Magnetfeld der

Erde teilweise äußerst schwache magnetische Störfelder aus. In diesen Anomalien zeichnen sich gewissermaßen die unterirdischen Strukturen ab. In einem sehr kleinen Abstand zwischen benachbarten Messpunkten werden bei der geomagnetischen Kartierung das Erdmagnetfeld und dessen lokal eng begrenzte und sehr schwache Anomalien gemessen. Die Messwerte werden anschließend nach verschiedenen Datenverarbeitungsabläufen mithilfe der digitalen Bildverarbeitung dargestellt. Das Ergebnis wird als *Magnetogramm* bezeichnet. Je nach Ausprägung des Kontrastes der magnetischen Eigenschaften der Objekte im Untergrund können Strukturen bis zu einer Tiefe von 1–2 m erfasst werden. Gegenstände mit hoher Magnetisierung, wie größere Metallobjekte, können in noch größeren Tiefen geortet werden. Die geomagnetische Prospektion ist ein integrales Verfahren: Alle Anomalien am Messort, deren Störquellen innerhalb des Detektionsvolumens im Untergrund liegen, werden als ein einziger Messwert abgespeichert. Nachteil dieses Verfahrens ist unter anderem die Anfälligkeit gegenüber Störungen wie Kontamination des Bodens durch Metallobjekte, Eisenarmierungen nahe stehender Gebäude etc. Zudem können die Störquellen nicht immer aufgrund der Form und Stärke ihrer Anomalien eindeutig charakterisiert werden: Verschiedenste magnetisierbare Objekte unterschiedlichster Größe, Form und Tiefenlage können nahezu die gleiche Anomalie erzeugen.
Liegen die Größenordnungen der Kontraste unterhalb der Empfindlichkeit des Messgerätes oder sind keine Magnetisierungskontraste vorhanden (etwa bei Mauern aus Kalkstein, die in einem an Kalk reichen Boden eingebettet sind, bei Gegenständen aus Aluminium oder Bronze etc.), sind die archäologischen Strukturen für das geomagnetische Messverfahren unsichtbar. In diesem Fall muss mit einem weiteren Verfahren, das eine andere physikalische Eigenschaft des Untergrundes bestimmt, vorgegangen werden, etwa der Geoelektrik.

2 Geoelektrik: Messung der elektrischen Leitfähigkeit oberflächennaher Bodenschichten.

Geoelektrische Kartierung

Die Geoelektrik ist im Gegensatz zur Geomagnetik ein aktives Verfahren (Abb. 2): Während bei der geomagnetischen Kartierung kein Einfluss auf das zu messende Objekt ausgeübt wird, findet hier eine Einspeisung von einem zumeist schwachen Strom in den Boden statt. Dadurch wird im Untergrund ein künstliches elektrisches Feld erzeugt, mit dessen Hilfe die elektrische Leitfähigkeit des Erdreichs bis zu einer bestimmten Tiefe bestimmt wird. Diese Tiefe wird durch geeignete Wahl der Sondenkonfiguration und des Abstandes der Messsonden untereinander bestimmt. Das Verfahren ist in dieser Hinsicht somit flexibler als das der Geomagnetik: Sofern im speziellen Fall sinnvoll, können Messungen bis in Tiefen von mehreren Metern durchgeführt werden. Allerdings reduziert sich dabei das Auflösungsvermögen des Verfahrens und die Abbildungsschärfe der archäologischen Strukturen, wie wir in experimentellen Messungen nachweisen konnten.

Auch die Geoelektrik ist ein integrales Verfahren: Die Beiträge aller Störkörper, die sich innerhalb des Detektionsvolumens befinden, werden als ein Messwert abgespeichert. Vagabundierende Ströme technischer Anlagen im Untergrund können auch dieses Verfahren störanfällig machen und damit die Messdaten negativ beeinflussen. Im Gegensatz zur Geomagnetik sind die mit der Geoelektrik aufgezeichneten und im sogenannten *Resistogramm* dargestellten Anomalien meistens eindeutig zu interpretieren. Hohe Widerstände weisen in der Regel auf Mauern, Schutt oder Hohlräume hin, niedrige Widerstände auf Gräben und Gruben oder ehemalige Bach- und Flussläufe, wenn sie zur Zeit der Messungen immer noch einen gegenüber der Umgebung erhöhten Feuchtigkeitsgehalt aufweisen. Nur selten findet eine Phasenumkehr aufgrund besonderer Umweltbedingungen statt, wie weiter unten am Beispiel eines keltischen Grabes von Gehweiler gezeigt werden wird. Das Verfahren ist signifikant abhängig von der Dauer und der Menge an Niederschlägen und dem Feuchtigkeitsgehalt im Boden.

3 Elektromagnetische Induktion: Bestimmung magnetischer Eigenschaften und elektrischer Leitfähigkeiten oberflächennaher Bodenschichten.

Die Durchführung einer geoelektrischen Kartierung kann körperlich anspruchsvoll sein. Wird in einem Mess- und Profilabstand von 0,5 m gemessen, so muss das Messgerät, um eine Fläche von 20 m auf 20 m zu untersuchen, 1600 Mal in den Boden gerammt werden. Das können pro Tag bis zu 12 800 Einzelmessungen sein.

Elektromagnetische Induktion

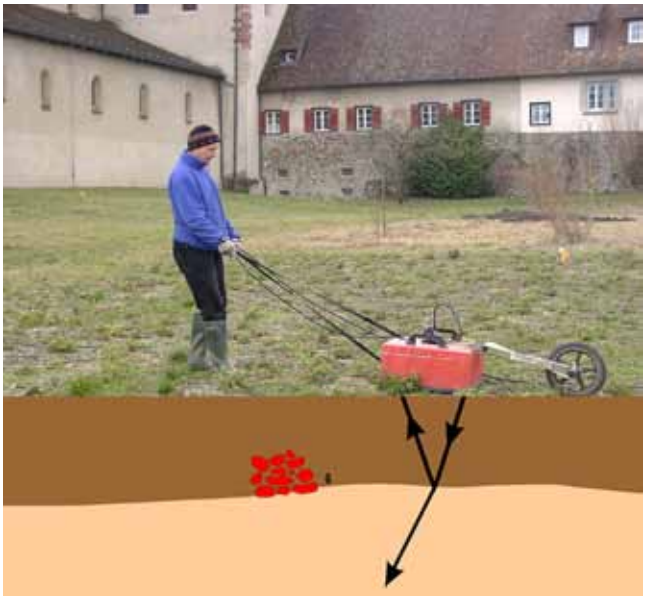
Eine einfachere Methode, die Leitfähigkeit und die Suszeptibilität (eine physikalische Materialeigenschaft, die die Magnetisierbarkeit in einem externen Magnetfeld – beispielsweise dem Erdmagnetfeld – angibt) des Untergrundes zu bestimmen, ist die elektromagnetische Induktion.

Auch dieses ist ein aktives Verfahren: Das Messgerät besteht im Wesentlichen aus zwei Spulen. Mit der sogenannten Primärspule wird ein Magnetfeld bekannter Stärke erzeugt, das im Untergrund elektrische Ströme induziert. Diese Ströme bauen wiederum ein Magnetfeld auf, das von der zweiten, der sogenannten Sekundärspule gemessen wird. Alle Objekte, in denen Wirbelströme erzeugt werden können, lassen sich mit diesem Verfahren detektieren, sofern sie bezogen auf die Spulengeometrie über einen hinreichend großen Durchmesser verfügen. Bronze und Aluminium sind beispielsweise unmagnetisch und daher für die Geomagnetik unsichtbar. Mit dem elektromagnetischen Induktionsverfahren können derartige Objekte hingegen prospektiert werden. Die Messung erfolgt dabei induktiv: Das Messgerät wird entlang der Bodenoberfläche getragen (Abb. 3). Ein Kontakt mit dem Boden, wie es beim Verfahren der Geoelektrik notwendig ist, muss nicht her-

gestellt werden. Allerdings ist dieses Verfahren aufgrund der Geräteeigenschaften nicht so flexibel wie die geoelektrische Prospektionsmethode, was die Wahl der Detektionstiefe betrifft. Bei einem tragbaren Gerät beispielsweise kann je nach Orientierung des Gerätes nur bis zu einer Tiefe von etwa 0,75 m oder 1,50 m prospektiert werden. Aufgrund des Spulenabstandes (mindestens 1 m) ist zudem die laterale Auflösung der gemessenen unterirdischen Strukturen geringer als bei der Geoelektrik.

Elektromagnetisches Reflexionsverfahren

Die höchste laterale und vertikale Auflösung erreicht jedoch das elektromagnetische Reflexionsverfahren, auch bekannt als Geo- oder Bodenradar. Bei dieser – ebenfalls aktiven – Untersuchungsmethode strahlt eine Sendeantenne einen elektromagnetischen Impuls von der Dauer weniger Milliardstel Sekunden in den Untergrund hinein. Trifft dieser Impuls auf eine Inhomogenität (einen Bereich, in dem sich eine elektrische Eigenschaft der Erdschicht sprunghaft ändert), wird ein Teil seiner Energie zurück an die Erdoberfläche reflektiert und dort von der Empfangsantenne aufgezeichnet. Der andere Teil seiner Energie dringt mit veränderter Ausbreitungsrichtung tiefer in den Untergrund hinein, bis er auf eine weitere Inhomogenität trifft und wiederum teilweise an die Erdoberfläche zurück reflektiert wird (Abb. 4). Aus diesem Grund ist es möglich, Strukturen im Untergrund dreidimensional zu erfassen und nach aufwendiger Datenverarbeitung auch dreidimensional darzustellen. Die maximal mögliche Detektionstiefe bei diesem Verfahren wird zum einen bestimmt von der Mittenfrequenz der Sendeantenne und zum anderen von dem Tonmineral- und Feuchtigkeitsgehalt im Untergrund. Je geringer diese Frequenz ist, umso tiefer liegt die Detektionsgrenze, aber umso geringer ist das Auflösungsvermögen der eingesetzten Antenne. Im besten Fall wird eine Radaruntersuchung mit zwei Antennen unterschiedlichster Frequenz durchgeführt.



4 Bodenradar: Mit diesem hochauflösenden Verfahren können unterirdische Strukturen bis in mehrere Meter Tiefe dreidimensional erfasst werden.

Der Tonmineral- und Feuchtigkeitsgehalt im Boden bestimmt den Grad der Absorption der elektromagnetischen Impulse. Mauern, Schutt, Steinabdeckungen, Leitungen, Kanäle und Hohlräume können mit diesem Verfahren hervorragend detektiert werden. Der Verlauf bzw. der Grundriss solcher Strukturen wird in sogenannten *Zeitscheiben* dargestellt. Diese werden aus Senkrechtschnitten einander benachbarter *Radargramme* – den Messdaten entlang eines Profiles – in verschiedenen Tiefen errechnet.

Geophysikalische Prospektionen werden nicht nur zur Vorbereitung und gezielten Planung von archäologischen Ausgrabungen hinzugezogen. Oft dienen sie der Dokumentation von Siedlungsplätzen, die nicht ausgegraben

5 Der Fürstengrabhügel Kleinaspergle während der Radarmessungen im Januar 2009.

werden, sondern geschützt im Boden verborgen bleiben sollen. Dazu kann es notwendig sein, nicht nur eines, sondern mehrere geophysikalische Verfahren zusätzlich durchzuführen. Eine derartige Kombination verschiedener Untersuchungsmethoden ist auch dann sinnvoll, wenn Kontrastverhältnisse angetroffen werden, die den Einsatz verschiedener Verfahren erfordern. Auch solche Fälle sind unter den im Folgenden vorgestellten Beispielen von Prospektionen keltischer Fundstätten – Gräber, Viereckschanzen und Rechteckhöfe sowie Höhensiedlungen – vertreten.

Seite 44
7 Ergebnisse der Bodenradar-Messungen am Kleinaspergle. Nähere Erläuterungen im Text

Grabhügel und Grabgärten

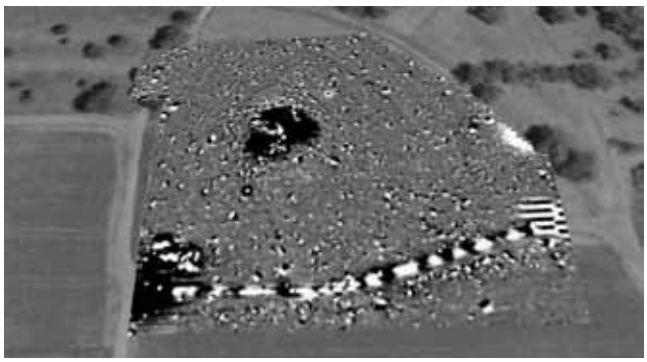
Grabhügel Kleinaspergle, Stadt Asperg, Kreis Ludwigsburg

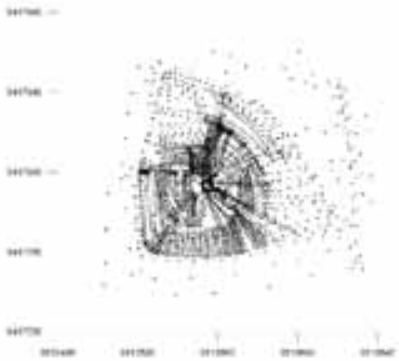
Bei einer Stollengrabung des Kleinaspergles wurde von O. Fraas 1879 neben einer bereits ausgeraubten, zentral gelegenen Hauptgrabkammer eine intakte Nebenkammer mit Holzverschalung von etwa 1 m Höhe gefunden, die nicht – wie sonst üblich – mit Steinlagen abgedeckt gewesen ist. Da aufgrund der Größe dieses Grabhügels (60 m Durchmesser, Höhe 7,60 m; Abb. 5) mit weiteren Nebenbestattungen gerechnet werden muss, wurden trotz ungünstiger Bedingungen (fehlende Steinlagen, Holzgrabkammern) Radarmessungen durchgeführt. Zudem fand eine geomagnetische Kartierung statt, da H. Zürn 1963 bei einer Suchschnittgrabung am südöstlichen Rand einen etwa 2,5 m breiten und 1,2 m tiefen Graben entdecken konnte, der späterhin als Umfassungsgraben interpretiert wurde und mithilfe der geomagnetischen Kartierung dokumentiert werden sollte.

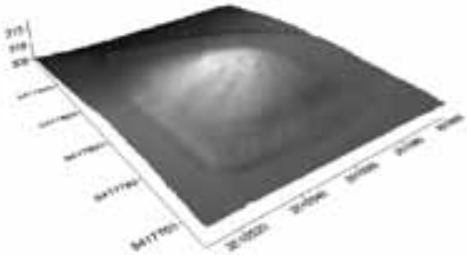
Das Magnetogramm (Abb. 6) weist jedoch keinerlei Hinweise auf archäologische Strukturen auf. Die gemessenen Störfelder wurden lediglich verursacht durch die Eisenarmierung eines zentral aufgestellten Betonsockels, durch Hinweisschilder, Bänke, Mülleimer sowie durch eine entlang des Weges verlegte Versorgungsleitung. Das Gebiet ist zudem übersät mit kleinräumigen Anomalien kleinster Objekte hoher Magnetisierung (Dosenverschlüsse, Kronkorken). Schwach ausgeprägte, langgezogene gebogene Strukturen entsprechen ehemaligen Feldgrenzen.

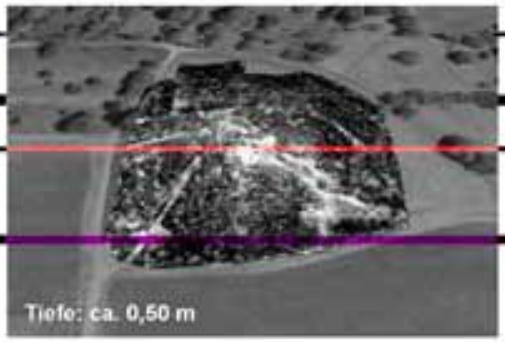
Das Bodenradar konnte hingegen mehrere rechteckige Strukturen nachwei-

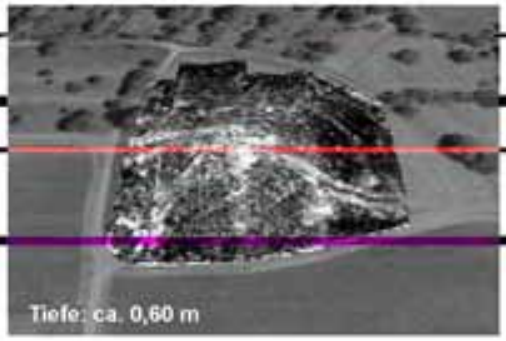
6 Ergebnis der geomagnetischen Kartierung des Grabhügels Kleinaspergle.

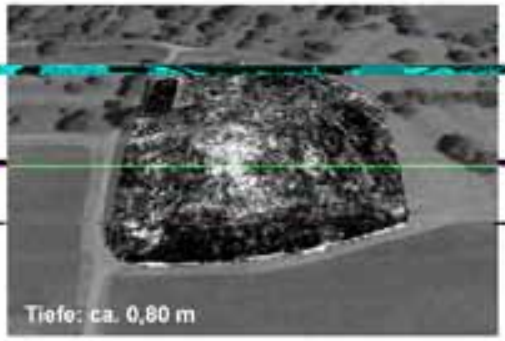


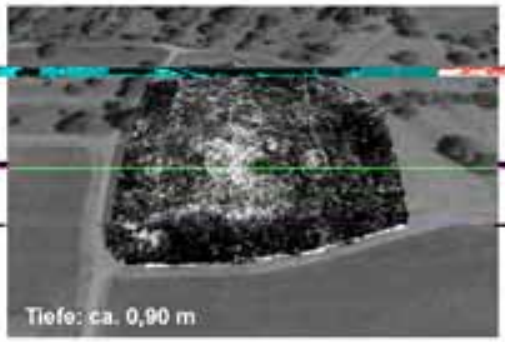


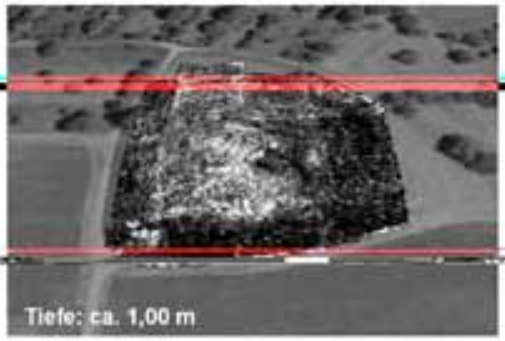


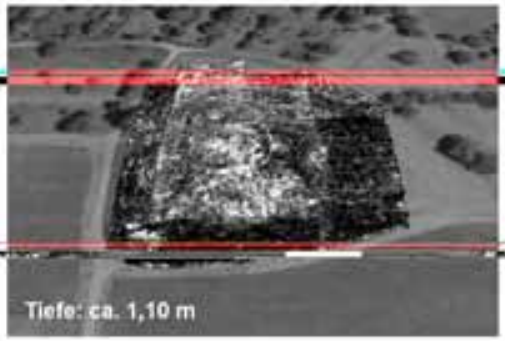

Tiefe: ca. 0,50 m


Tiefe: ca. 0,60 m


Tiefe: ca. 0,80 m


Tiefe: ca. 0,90 m


Tiefe: ca. 1,00 m

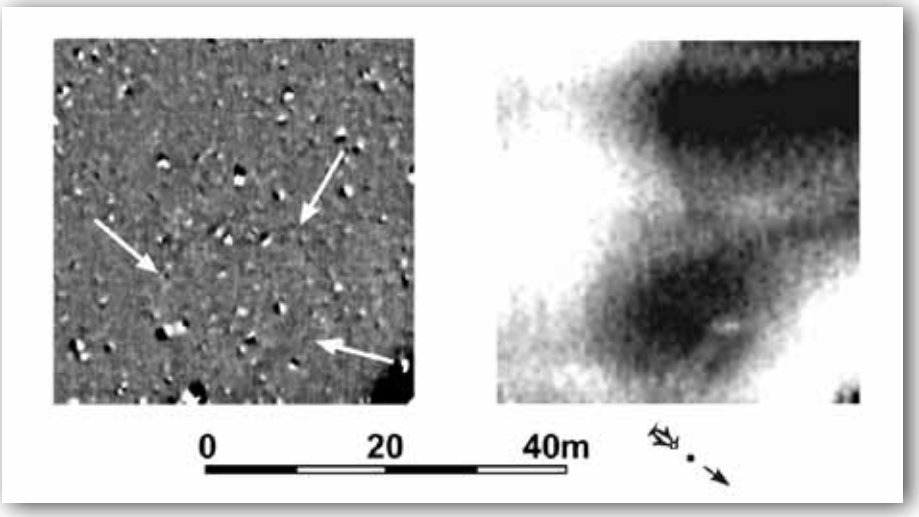

Tiefe: ca. 1,10 m

8 Grabhügel oder Turmburg? Der Birtenleh bei Rottenburg am Neckar.

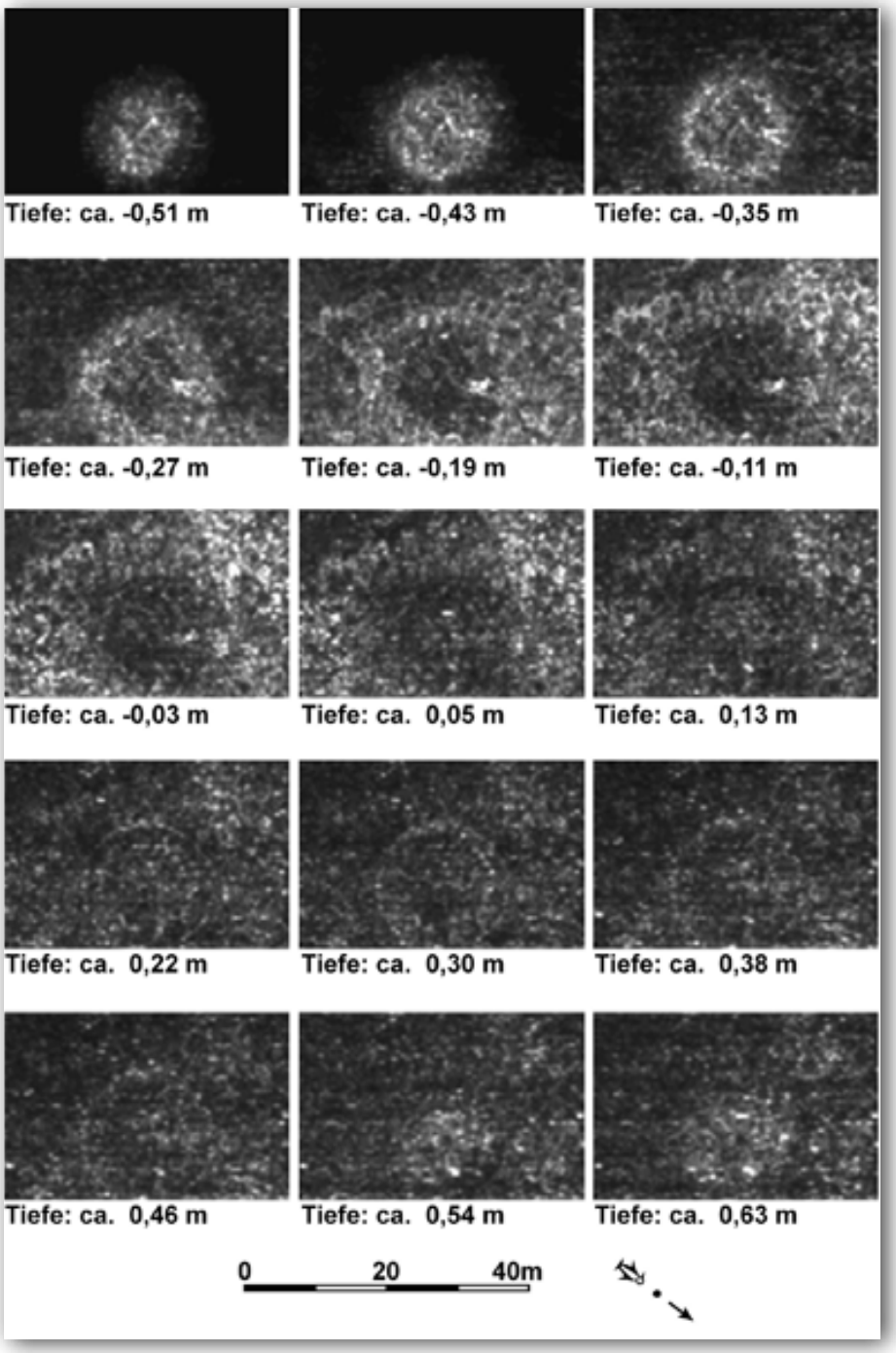
sen, die mit einiger Wahrscheinlichkeit auf Grabkammern zurückgeführt werden können (Abb. 7). Diese Anomalien lassen sich teilweise nur über eine Tiefe von etwa 40 cm verfolgen, was mit eingestürzten Grabkammern erklärt werden könnte. Einige dieser Anomalien sind in der Abbildung 7 mit einem Kreis markiert. Für diese Abbildung wurden sechs Zeitscheiben ausgewählt, deren Tiefenlage bezogen auf die Oberfläche des Fürstengrabhügels jeweils angegeben ist. Um die Radardaten entsprechend der Topographie korrigieren zu können, wurde auf Basis mehrerer Tausend GPS-Messungen ein digitales Geländemodell erstellt. Die Lage der Einzelmessungen sowie das digitale Geländemodell werden ebenfalls in der Abbildung 7 vorgestellt.

Der Birtenleh bei Rottenburg am Neckar, Kreis Tübingen: Turmburg oder keltischer Grabhügel?

Etwa zwei Kilometer östlich von Rottenburg befindet sich innerhalb eines Wasserschutzgebietes ein kleiner Hügel (Abb. 8), von dem man nicht wusste, ob er das Fundament einer frühmittelalterlichen Turmburg bildete, der aber auch ein keltischer Grabhügel sein könnte. Eine geophysikalische Prospektion sollte hierüber Aufschluss geben. Die Bedingungen vor Ort erwiesen sich dabei als suboptimal für die geomagnetische und auch für die geoelektrische Kartierung (Abb. 9). Aufgrund hohen Feuchtigkeitsgehaltes im Untergrund waren die geoelektrischen Kontraste, die für die Detektion archäologischer Strukturen notwendig sind, nicht vorhanden. Auch gab es keinerlei Kontraste in den Magnetisierungen von im Untergrund vorhandenen Strukturen, im Magnetogramm zeichnet sich lediglich der Umriss dieser Erhebung ab (Abb. 9, markiert mit Pfeilen). Nur in Kombination mit dem Bodenradar konnte ein Steinkranz (Abb. 10) festgestellt werden, und damit war entschieden: Der Birtenleh ist ein keltischer Grabhügel. Die Abbildung 10 beinhal-



9 Geomagnetische (links, Rand des Hügels ist mit Pfeilen markiert) und geoelektrische Kartierung des Birtenleh bei Rottenburg. Die Anomalien lassen eine Entscheidung, ob es sich bei der Erhebung um eine Turmhügelburg oder um einen Grabhügel handelt, nicht zu.



10 Der Birtenleh ist ein Grabhügel – der Nachweis gelang durch die Bodenradar-Untersuchungen. Deutlich zu erkennen: der den Grabhügel umgebende Steinkranz.

tet mehrere Zeitscheiben, deren Höhe bezogen auf den heutigen Gehhorizont in den jeweiligen einzelnen Teilabbildungen angegeben ist. Negative Tiefenangaben bedeuten eine Höhe über dem heutigen Gehhorizont. Der Steinkranz ist als kreisrunde, hell dargestellte Anomalie vor allem innerhalb eines Tiefenbereiches zwischen etwa 0,22 m und 0,46 m zu erkennen.

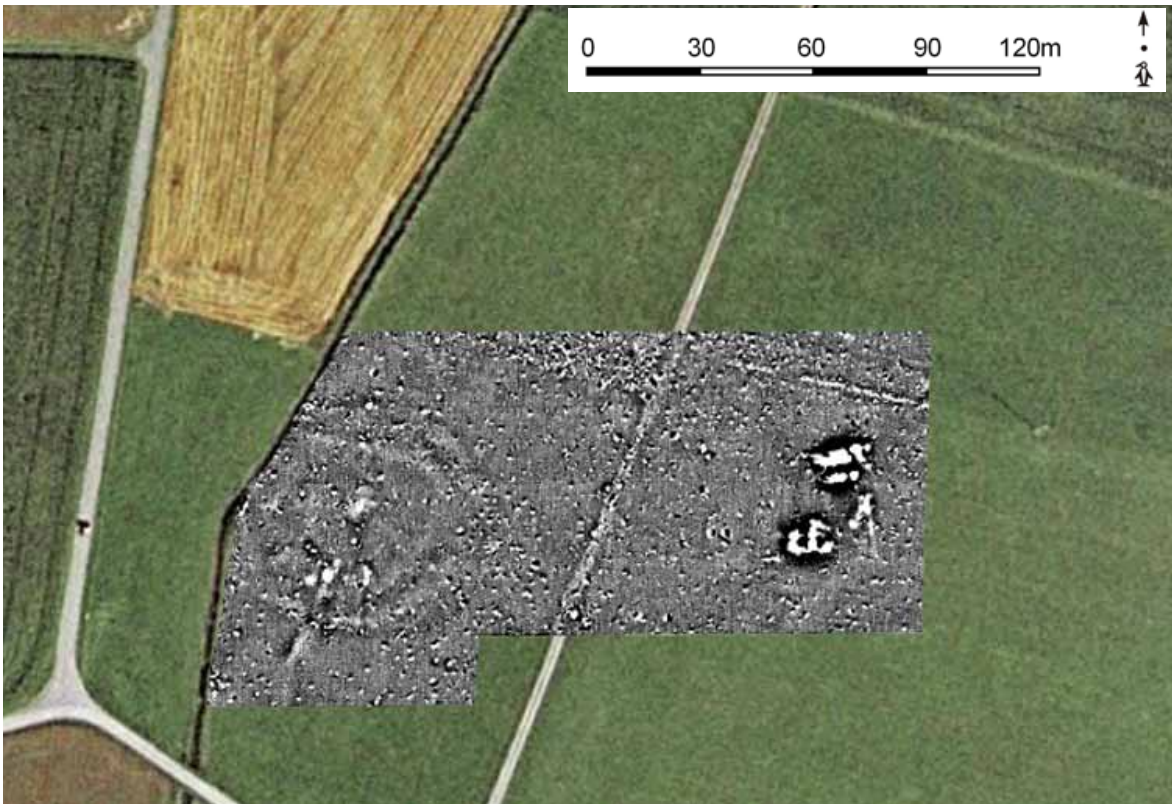
11 Der Bettelbühl, die höchste Erhebung der Bettelbühlgruppe von Grabhügeln bei Herbertingen.

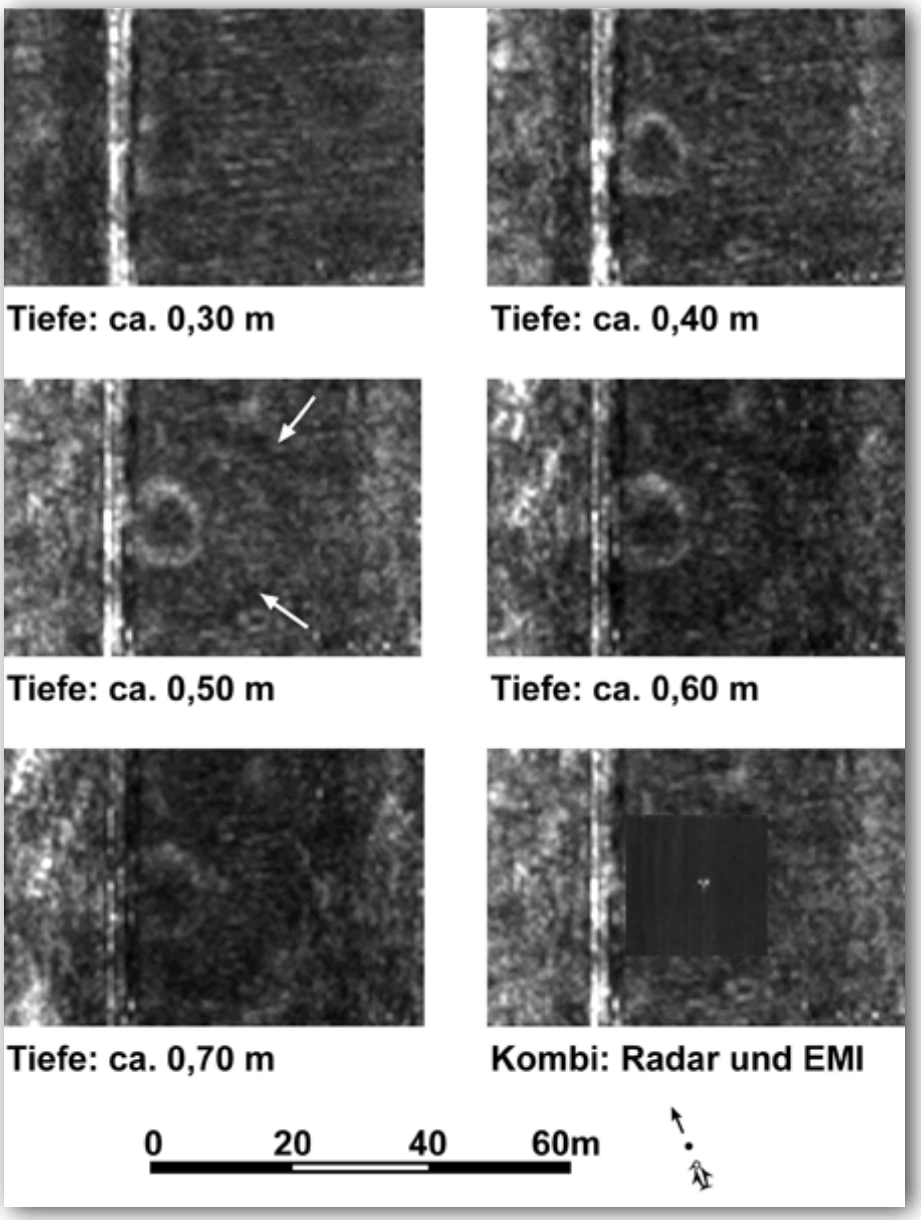
12 Ergebnis der geomagnetischen Kartierung des Bettelbühls. Nähere Erläuterungen im Text.

Die Bettelbühlgruppe bei Herbertingen, Kreis Sigmaringen

Die höchste Erhebung der Bettelbühlgruppe, eines aus mindestens sieben Grabhügeln bestehenden keltischen Gräberfeldes in der Donauebene bei Herbertingen, erreicht heute noch eine Höhe von etwa 3,7 m und hat einen Durchmesser von etwa 50 m (Abb. 11). Dem Magnetogramm zufolge (Abb. 12) ist der Grabhügel Bettelbühl im Westen von einem Bach angeschnitten worden und war von einem Kreisgraben umgeben. Charakteristische geomagnetische Anomalien weisen zudem darauf hin, dass der Grabhügel mittels eines Suchschnittes von Südsüdost in Richtung Zentrum angegraben worden ist. Weitere, teilweise mehrere Meter breite Anomalien zeigen interne Strukturen des Grabhügels auf, vor allem innerhalb seines nördlichen und südöstlichen Bereiches. Westlich des Zentrums ist eine etwa 11 m × 4,7 m große, rechteckige Struktur zu erkennen, die aufgrund ihres Ausmaßes wohl kaum als Nebenbestattung interpretiert werden kann und deren Bedeutung bislang unklar ist.

Etwa 70 m östlich des Bettelbühls befindet sich im Gelände eine weitere, jedoch relativ flache Erhebung. Die geomagnetischen Anomalien sind hier außerordentlich stark ausgeprägt, was auf eisenhaltige Fundamente abgegangener Bauten oder Heuschober oder auch auf eine Mülldeponie hindeutet





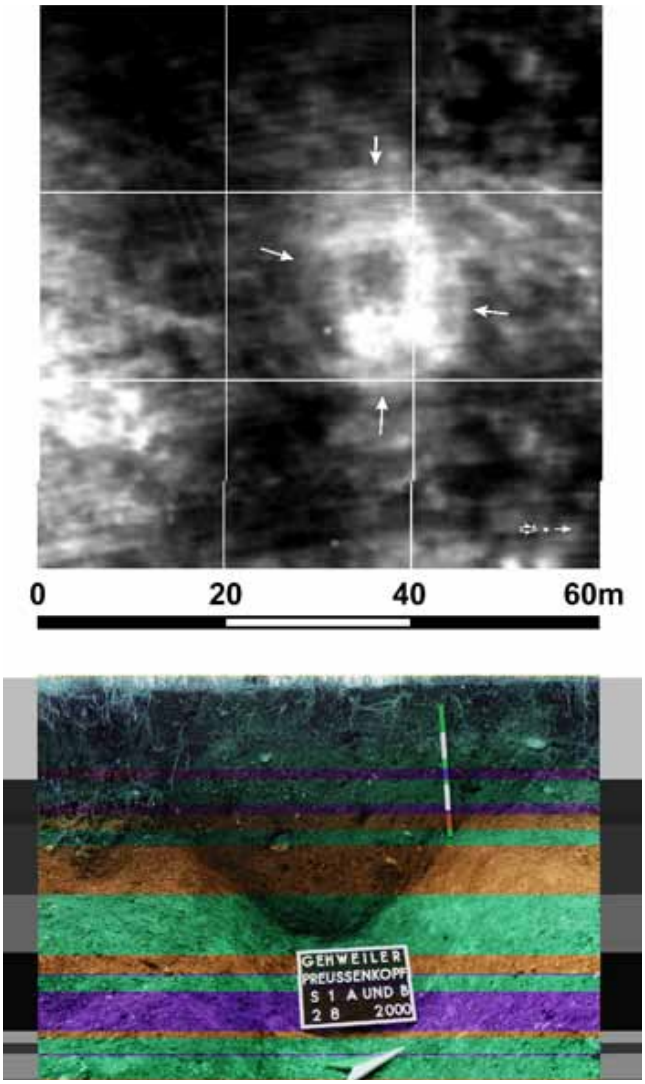
13 Nachweis eines weiteren keltischen Grabes innerhalb der Bettelbühlgruppe mit den Verfahren der elektromagnetischen Induktion und des Bodenradars.

und kaum als Grabkammern oder als Reste eines abgegangenen Grabhügels interpretiert werden kann.

Die Grabkammer eines weiteren Grabhügels der Bettelbühlgruppe zeichnet sich in den Ergebnissen einer Radarprospektion in einer Tiefe zwischen 0,30 m und 0,80 m ab (Abb. 13). Im Tiefenbereich zwischen 0,40 m und 0,60 m ist in den Zeitscheiben zudem ein Graben zu erkennen, der in der zur Tiefe von 0,50 m gehörenden Teilabbildung mit zwei Pfeilen markiert ist. Eine zusätzliche Messung mit dem elektromagnetischen Induktions-Verfahren (EMI) im Bereich der Grabkammer gibt zudem die Lage dreier metallischer Objekte an, die sich innerhalb einer Tiefe von etwa 0,75 m am Rande der Grabkammer befinden.

Das keltische Grab von Gehweiler, Gde. Namborn, Kreis St. Wendel, Saarland

Auf einem Höhenzug zwischen Gehweiler und Löstertal, dem sogenannten Preußenkopf, wurde 1997 ein frühkeltisches Fürstengrab gefunden. Kurz vor dessen archäologischer Untersuchung durch das Staatliche Konservatoramt Saarbrücken im Jahre 2000 konnten geophysikalische Prospektionen durchgeführt werden.
Während sich im Magnetogramm der Grabhügel lediglich als eine sehr schwache, großflächige Anomalie abzeichnet, konnte der innere Aufbau des Grabes mithilfe der geoelektrischen Kartierung sichtbar gemacht werden (Abb. 14). Diesen Messungen zufolge war das Fürstengrab von einem Steinkranz umgeben, der in der Abbildung 14 mit Pfeilen markiert ist. Die Ausgrabung zeigte jedoch, dass lediglich ein Kreisgraben ohne besonders auffällige Steinanhäufungen den Grabhügel umgab (Abb. 14, untere Teilabbildung). Gegenüber seiner Umgebung erwies sich das Füllmaterial dieses Kreisgrabens als sehr trocken. Der scheinbare spezifische elektrische Widerstand dieses Grabens war somit höher als der seiner Umgebung und zeichnete sich daher als helle Struktur im Resistogramm ab, wie sie normalerweise charakteristisch für Steinkränze ist. In Gehweiler haben wir damit eine Situation vorgefunden, wie sie nur sehr selten anzutreffen ist.



14 Keltischer Grabhügel in Gehweiler, Saarland: Die geoelektrische Kartierung gibt Aufschluss über dessen inneren Aufbau. Der vermeintliche Steinkranz (siehe Pfeile) entpuppte sich bei der Ausgrabung als Phasenumkehr aufgrund eines besonders trockenen Grabens.

Der Grabhügel von Cérilly, Dép. Côte d'Or, Frankreich

Der heute noch über 7 m hohe Grabhügel wurde nach Aussagen des jetzigen Besitzers von dessen Großvater in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts um mehrere Meter abgetragen (Abb. 15), um die landwirtschaftliche Nutzung der Fläche zu erleichtern. Anfang der 1950er Jahre fand eine Grabung des französischen Archäologen René Joffroy statt, Unterlagen über diese Aktivitäten sollen verloren gegangen sein.
Im Magnetogramm dieses Grabhügels (Abb. 16) sind jedoch die Spuren dieser Untersuchung sichtbar: Joffroy hat sich ganz offensichtlich aus südsüdöstlicher Richtung per Suchschnitt in Richtung Zentrum vorgearbeitet. Dieses Magnetogramm zeigt zudem eine Fülle von archäologisch relevanten Anomalien innerhalb dieses Grabhügels. Teil-

15 Der keltische Großgrabhügel in Cérilly, Frankreich.

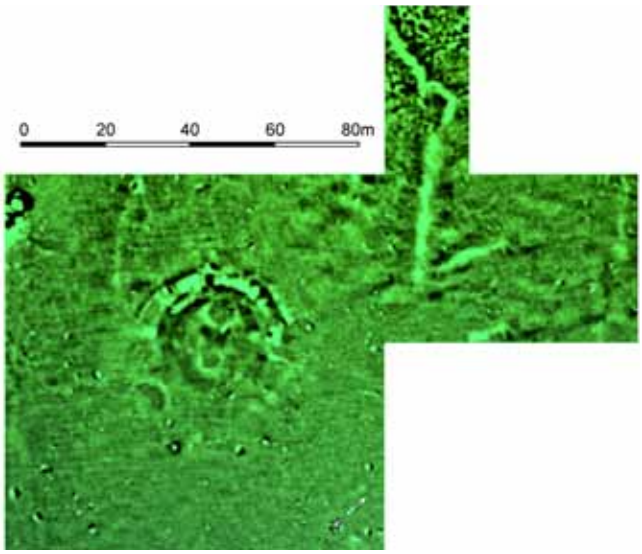
weise sind dies rechteckige Strukturen, die auf Nebenbestattungen hinweisen (z. B. im nordöstlichen Bereich, nahe dem Rand dieses Hügels). Der Grabhügel ist von einem Kreisgraben umgeben, am Nordrand findet sich zudem eine rechteckig ausgeführte Grabenstruktur. Innerhalb der durch diesen Graben eingeschlossenen Fläche sind mehrere Pfostenlöcher zu erkennen. Dieser rechteckige Annex ist ausgerichtet auf den Mont Lassois, einen Zeugenberg, dessen Plateau zu jener Zeit besiedelt gewesen ist (siehe unten, Abschnitt Höhensiedlungen).

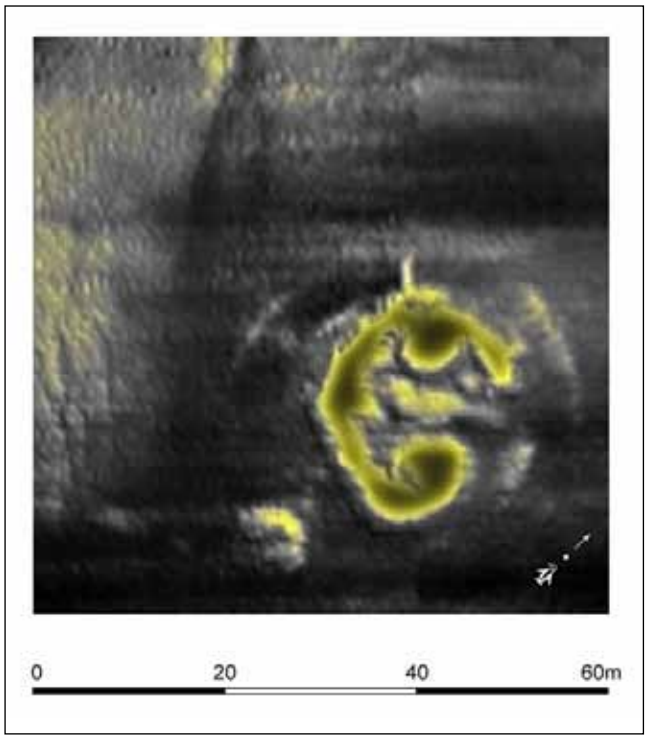
Der Grabhügel von La Butte, Dép. Côte d'Or, Frankreich

Dieses Grab in der Nähe des Dorfes Sainte-Colombe, unweit der Stadt Châtillon-sur-Seine, wurde 1963 ausgegraben und konnte auf die Mitte des 6. Jahrhunderts v. Chr. datiert werden. La Butte war die Grablege einer auf einem Wagen bestatteten Frau. Sinn dieser Prospektion war zunächst – aufgrund nicht vorhandener Grabungsunterlagen – die genaue Ortung des Grabhügels. Dies gelang mit der geomagnetischen Kartierung (Abb. 17). Auch wenn die

links unten
16 Magnetogramm des Grabhügels von Cérilly. Nähere Erläuterungen im Text.

rechts unten
17 Lokalisierung des Grabhügels La Butte bei Courban mithilfe der geomagnetischen Kartierung.



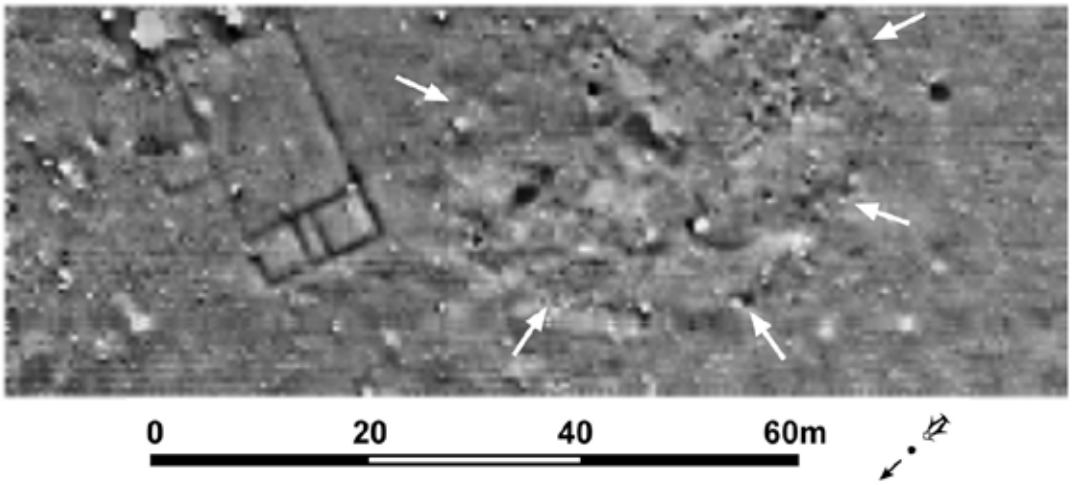


18 Die geoelektrische Kartierung liefert weitere Hinweise auf den inneren Aufbau des Grabhügels La Butte.

zentral gelegenen Bereiche des Grabhügels durch die Untersuchung von 1963 weitgehend zerstört worden sind, können doch im Magnetogramm in weiten Bereichen des Fürstinnengrabes Rückschlüsse auf dessen internen Aufbau gezogen werden, zumal es sich bei den damaligen Grabungsaktivitäten hauptsächlich um die Bergung der zentral gelegenen Grabkammer handelte. Die auffälligsten Strukturen sind im nordwestlichen Bereich des abgegangenen Grabhügels zu erkennen. Ganz offensichtlich bestand der Grabhügel aus konzentrisch angelegten Teilsegmenten mit einer Breite von etwa 5 m. Eine weitere Struktur konvexer Form im Süden des Grabes ist offensichtlich ebenfalls Teil des internen Aufbaus des Keltengrabes. Aufgrund der Grabungsaktivitäten erscheint eine Interpretation zentral gelegener Strukturen a priori wenig sinnvoll. Dennoch sei auf zwei Strukturen im Magnetogramm hingewiesen, die sich nordwestlich bzw. südöstlich der Grabkammer befinden, in etwa fünfeckig und im Durchmesser circa 5 m bzw. 7 m groß sind. Eine geoelektrische Kartierung (Abb. 18) weist diese Anomalien als dichte Steinpackungen aus. Eine Untersuchung mit dem Bodenradar, die vielleicht mehr Aufschluss über diese beiden Strukturen gebracht hätte (interner Aufbau oder lediglich Schutthaufen der Grabung der 1960er Jahre), musste jedoch leider abgebrochen werden. Die geoelektrische Kartierung konnte zudem einen Steinkranz nachweisen sowie weitere Strukturen innerhalb des Hügels dokumentieren.

Das Grab der Fürstin von Vix, Dép. Côte d'Or, Frankreich

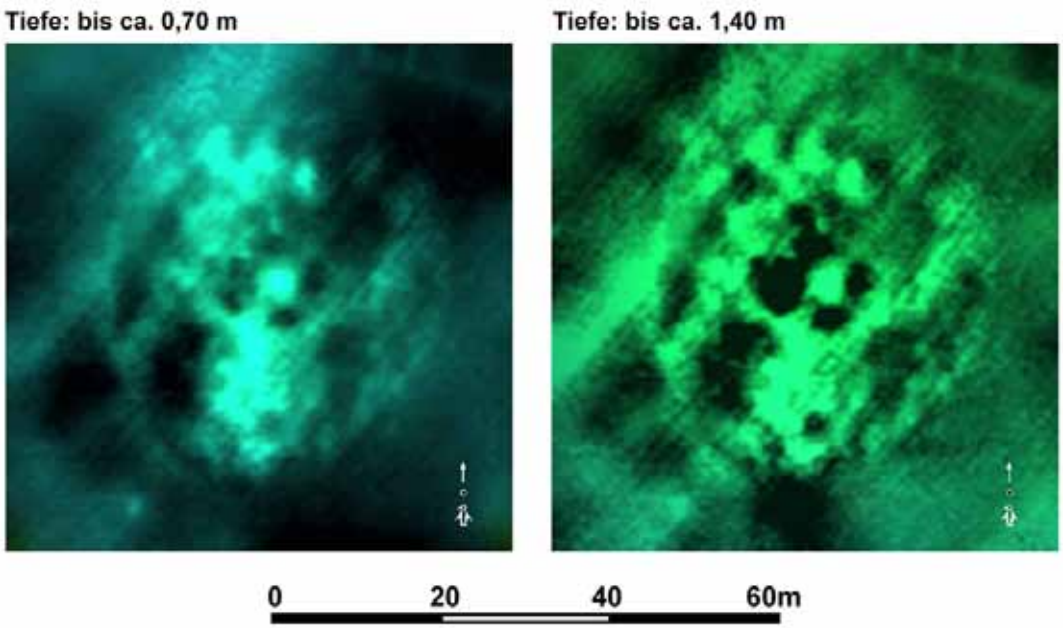
Die zentral gelegene Kammer des Grabes von Vix wurde 1953 von René Joffroy ausgegraben. Bekannt ist vor allem der „Cratère de Vix", ein reich verziertes Weinmischgefäß mit einem Fassungsvermögen von 1100 Litern, einer Höhe von 1,64 m und einem Gesamtgewicht von 208 Kilogramm. Der Grabhügel ist heute nur noch als eine kleine Erhebung von knapp 0,50 m gegenüber seiner Umgebung zu erkennen.
Im Magnetogramm zeichnen sich die Umrisse dieses Grabes ab (in Abb. 19 mit Pfeilen markiert), an dessen Nordostseite sich später ganz offensichtlich Römer niedergelassen hatten, wie der rechteckige Gebäudegrundriss zeigt. Nachdem das Grab und dessen Ausdehnung mithilfe der geomagnetischen Prospektion lokalisiert waren, wurden mit zwei geoelektrischen Kartierungen – jeweils bis zur Detektionstiefe von etwa 0,70 m und etwa 1,40 m – die geophysikalischen Untersuchungen fortgesetzt. Diese beiden Messungen zeigen nun deutlich nicht nur die Lage der bereits untersuchten Grabkammer an (Abb. 20), sondern geben auch Aufschluss über den internen Aufbau des

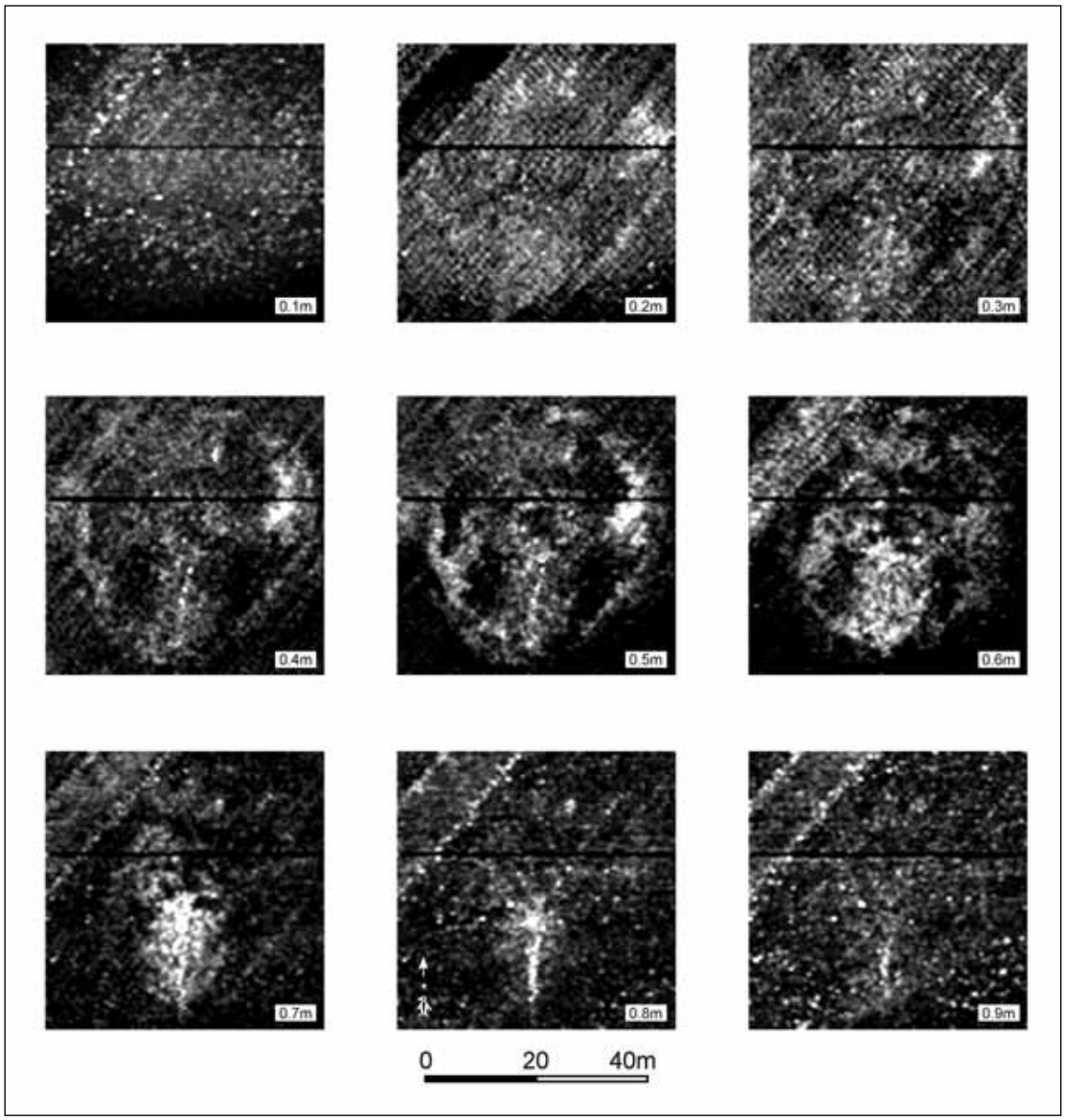


Grabhügels. Abschließende Untersuchungen mit dem Bodenradar lieferten zudem den Nachweis, dass René Joffroy 1953 seinen Suchschnitt von Süden her in Richtung Zentrum des Grabhügels vorangetrieben hatte (Abb. 21).

19 Ergebnis der geomagnetischen Kartierung des Fürstinnengrabes von Vix in Burgund.

20 Die geoelektrischen Kartierungen bis in Tiefen von etwa 0,70 m (links) und bis in Tiefen von etwa 1,40 m (rechts) liefern Informationen zu den inneren Strukturen des Fürstinnengrabhügels von Vix.





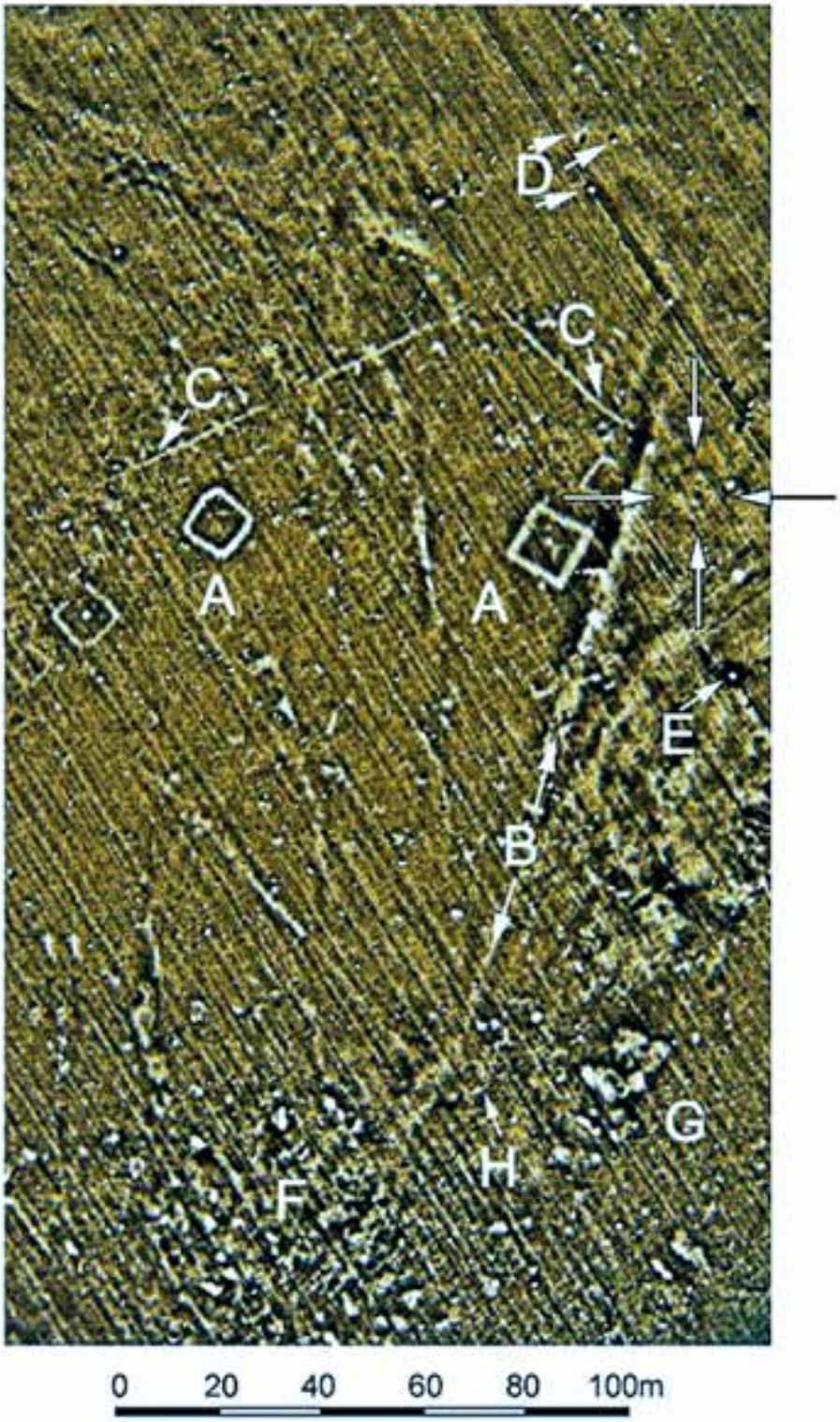
21 Weitere Anhaltspunkte zum Aufbau des Fürstinnengrabes von Vix sowie Lokalisierung des Suchschnittes von René Joffroy durch die Bodenradar-Prospektion.

Die Umgebung des Fürstinnengrabes von Vix

Gibt es weitere Besiedlungsspuren in der unmittelbaren Umgebung des Fürstinnengrabes, oder war dieses Grab siedlungsgeschichtlich isoliert? Um diese Frage ging es bei einer großflächigen geomagnetischen Kartierung im Umfeld des Grabes bis zum nordwestlichen Ufer der Seine.

Das Magnetogramm dieser Kartierung lieferte einige Überraschungen. Das Fürstinnengrab befand sich nicht isoliert in der Ebene, sondern war Teil einer Reihe von Grabhügeln, die sich offensichtlich entlang der Seine aneinanderreihten (Abb. 22, Pfeile ohne Beschriftung). Zudem konnten ein Grabgarten (A), Siedlungsreste (B) und im Nordosten der Messfläche, nördlich von Altarmen der Seine, eine vorge-

22 Keltische Siedlungsspuren im Umfeld des Fürstinnengrabes von Vix. Beschreibung der geomagnetischen Anomalien siehe Text.


D
C
C
A
A
E
B
G
H
F
0
20
40
60
80
100m

schichtliche Siedlungsstätte (C) nachgewiesen werden. Das Heiligtum (D) war bereits vor der Zeit der Prospektion von saarländischen und französischen Archäologen untersucht worden. Im Magnetogramm bilden sich hier eine ganze Reihen von zurückgelassenen Grabungsnägeln ab.

Die Nekropolen von Vix

Die Lage einer Nekropole, westlich des Fürstinnengrabes von Vix gelegen, war bereits bekannt. Auch hier hatte in den 1950er Jahren René Joffroy zwei Grabgärten archäologisch untersucht. Um jedoch die genaue Position dieser Grabungen sowie die Größe der Nekropole feststellen zu können, wurde das Gebiet westlich der Eisenbahnlinie Châtillon-sur-Seine–Troyes geomagnetisch untersucht. Im Ergebnis (Abb. 23) sind neben den von Joffroy bereits untersuchten – deren Anomalien sich besonders deutlich im Magnetogramm abzeichnen und mit (A) markiert sind – noch weitere Grabgärten erkennbar, in deren Zentren sich offenbar meistens eine Stele befand. Ein kleiner Grabgarten ist mit (H) markiert. Zudem konnten die nördliche und östliche Grenze (C) dieser Nekropole erfasst werden, ferner weitere Siedlungsspuren (F, G) und Kreisgräber (eines ist mit vier Pfeilen markiert). Mit (B) ist eine geologische Grabenstruktur gekennzeichnet, (D) weist auf oberflächennahe kleine Metallobjekte aus jüngster Zeit hin, und (E) markiert einen Grenzpunkt, dessen zentraler Eisenkern eine relativ großflächige Anomalie erzeugt. Westlich dieser Nekropole gab es eine weitere, ähnlich strukturierte keltische Friedhofsanlage.

Das im Magnetogramm (Abb. 23) mit vier Pfeilen markierte Kreisgrab konnte vor der archäologischen Ausgrabung zudem mit dem Bodenradar untersucht werden. Die im Magnetogramm schwarz dargestellte kreisförmige Anomalie basierte auf einem Steinkranz aus zumeist nur noch drei Steinlagen. Dessen Mächtigkeit reichte jedoch aus, um diesen und die Zentralbestattung in dem Ergebnis der höchstauflösenden Radarprospektion dreidimensional darstellen zu können (Abb. 24).

23 Ergebnis der geomagnetischen Untersuchungen der großen Nekropole von Vix. Nähere Erläuterungen im Text.

24 Dreidimensionale Darstellung der Bodenradar-Untersuchungen eines Kreisgrabes (markiert in Abb. 23 mit vier Pfeilen) nahe der großen Nekropole von Vix.

Viereckschanzen und Rechteckhöfe

Die spätkeltische Viereckschanze bei Mengen-Ennetach, Kreis Sigmaringen

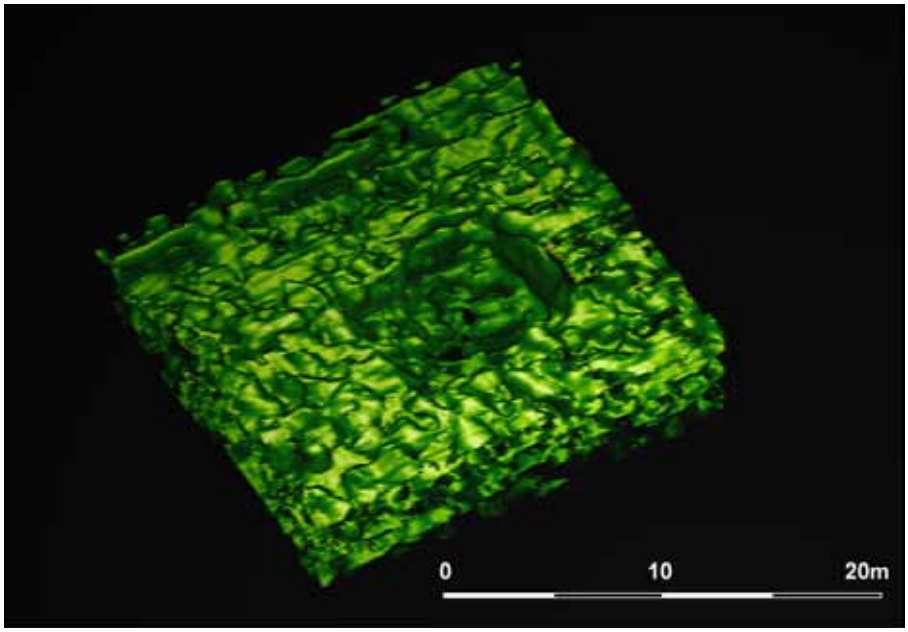
Die im Donautal bei Ennetach gelegene Viereckschanze wurde 1989 durch Luftaufnahmen von Otto Braasch entdeckt. Bei den im März 1998 durchgeführten geomagnetischen Untersuchungen konnte das bodennahe Erdmagnetfeld auf einer Fläche von über 120 m × 180 m erfasst werden. Das Magnetogramm wurde in das in etwa geostete Luftbild von Otto Braasch eingebunden (Abb. 25). Die prospektierte Fläche erstreckte sich über den gesamten Bereich der Viereckschanze und über etwa 20 Prozent des Annexbereiches. Diese Messungen bestätigten den Verlauf der im Luftbild sichtbaren Grabenstrukturen und haben zudem Hinweise auf Bebauung im Inneren der Viereckschanze ergeben.

Auffällig ist zunächst, wie unterschiedlich sich die Gräben dieser Viereckschanze im Magnetogramm abzeichnen: Während die Westseite durch hohe Anomaliewerte repräsentiert ist, scheint die Ostseite nahezu unsichtbar zu sein. Zudem ist die Breite der Gräben unterschiedlich. Der nördliche Begrenzungsgraben scheint den Messungen zufolge nahezu doppelt so breit wie der südliche Graben angelegt worden zu sein, sofern nicht Erosionsvorgänge oder unterschiedliche Intensitäten bei der Beackerung (verschiedene Bewirtschafter) diesen Unterschied hervorgerufen haben sollten.

Schwache, parallele Strukturen innerhalb der Viereckschanze wie auch innerhalb des Annex-Bereiches sind auf die landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen. Weitere, ebenfalls schwach ausgeprägte Anomalien dürften auf geologische Strukturen wie Altwasserarme der Donau hinweisen. Von archäologischem Interesse war jedoch eine helle, langgestreckte Anomalie innerhalb des Annex-Bereiches und nahe dem nordwestlichen Rand der untersuchten Fläche. Diese Struktur wurde im Anschluss an die Messungen im Zuge einer Grabung durch G. Wieland untersucht und erwies sich als keltischer Brunnenschacht. Auf etwa gleicher Höhe sind in nordwestlicher Richtung zwei weitere helle Anomalien zu erkennen. Diese sind auf Pfostengruben zurückzuführen und könnten den nordöstlichen Rand eines Rechteckbaus gebildet haben, denn zwei weitere gleichartige Anomalien finden sich 6 m entfernt, wiederum zwei weitere etwa 12 m in südwestlicher Richtung. Deren rechtwinklige Anordnung mag vielleicht zufällig sein, könnte aber auch auf ein Gebäude größeren Ausmaßes hindeuten. Innerhalb der Viereckschanze sind zusätzliche, zum Teil recht schwach ausgeprägte Anomalien zu erkennen, die miteinander in Bezug zu stehen scheinen.

Von der Südostecke der Viereckschanze zweigt ein Annex-Graben in Richtung Südwesten ab, knickt nach ca. 65 m in einem stumpfen Winkel nach Nordwesten um und ist auf dem Luftbild noch über eine Distanz von mehreren 100 m zu verfolgen. Innerhalb dieses Annexbereiches zeigt sich im Luftbild eine rechteckige, dunkle Verfärbung. Diese ist im Magnetogramm deutlich als die größte, flächig isolierte Struktur mit schwarzen und weißen Anteilen zu erkennen. Dies ist charakteristisch für einen Bereich mit hohem Magnetisierungsgrad, wie er beispielsweise bei Verziegelungen bzw. verbranntem Hüttenlehm auftreten könnte. Diese Teilfläche wurde im August 1998 mit dem Bodenradar erneut untersucht; die Ergebnisse sind in der Abbildung 26 dreidimensional dargestellt. Demnach handelt es sich bei dieser Struk-

25 Magnetogramm und Luftbild der Viereckschanze bei Mengen.



26 3D-Darstellung der Messergebnisse des Bodenradars eines Schachtes innerhalb des Annexbereiches der keltischen Viereckschanze von Mengen.

tur um einen eingetieften Schacht oder Erdkeller von etwa 7 m × 8 m, der bis in eine Tiefe von knapp 2 m reicht.

Die Doppelschanze von Osterholz, Gde. Kirchheim am Ries, Ostalbkreis

Südöstlich des Weilers Osterholz konnte eine bis dahin unbekannte, große doppelte keltische Viereckschanze mithilfe der geomagnetischen Kartierung entdeckt werden (Abb. 27), deren östlicher Abschluss sich innerhalb des Waldes von Osterholz befindet. Vor allem im nördlichen Bereich dieser Doppelschanze erlauben unterschiedliche Anomalien Rückschlüsse auf Teile der Innenbebauung, wie etwa die Pfostenstellungen (A) nahe dem östlichen Rand der prospektierten Messfläche, die sich im Magnetogramm durch linear angeordnete, in etwa kreisrunde helle Anomalien abzeichnen. Die am deutlichsten ausgeprägte Struktur (B) lässt den Anomalien zufolge an dieser Stelle ein Grubenhaus oder einen Keller erwarten, dessen Reste sich nur wenig unterhalb der Erdoberfläche befinden.

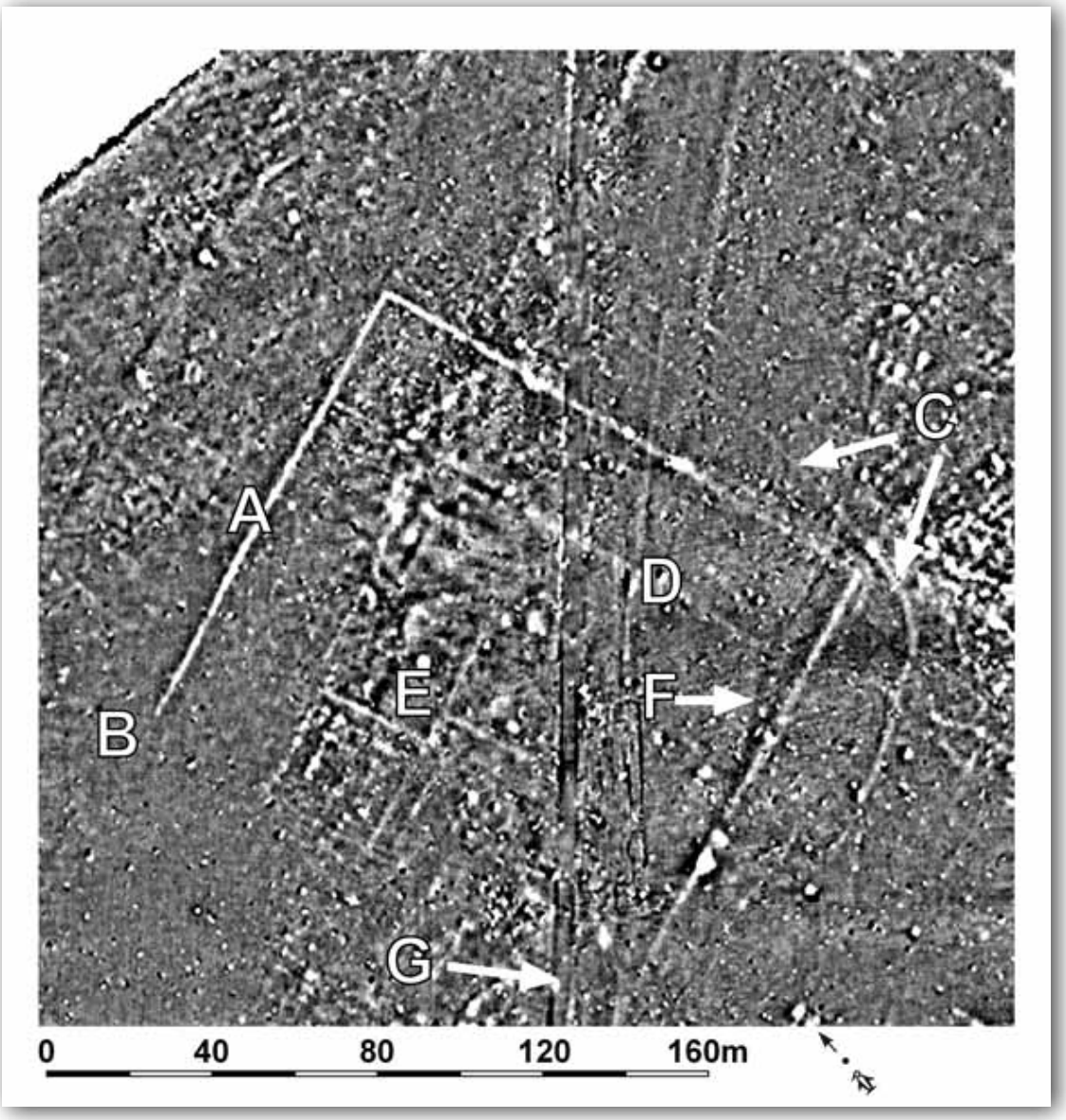
Die geomagnetischen Anomalien des südlichen Bereichs der Doppelschanze sind ungleich schwächer ausgeprägt als die des nördlichen Teiles. Aufgrund der topographischen Verhältnisse dürfte der Grund hierfür eine stärkere Erosion des südlichen Bereiches sein.
Westlich der Viereckschanzen deuten hellere Lineamente (C) auf weitere Graben- und Gräbchenstrukturen hin. Ob es sich hierbei um einen weiteren Rechteckhof handelt, kann indes nur durch eine Grabung verifiziert werden. Dies gilt auch für die Struktur (D), deren Lage, Kontext und Ausrichtung einen besonderen Zusammenhang mit der Doppelschanze vermuten lassen. Im südlichen Teil ermöglichen Lage und Anordnung von Pfostenlöchern Hinweise auf die dort ehemals vorhandene Innenbebauung. Mit (E) ist beispielsweise eine quadratische Anordnung von vier Pfostenlöchern hervorgehoben. Anomalie (F) entspricht geologischen Strukturen, deren nordwestliche Fortsetzung teilweise im Luftbild zu erkennen ist.

27 Magnetogramm der keltischen Doppelschanze bei Kirchheim-Osterholz. Erläuterungen zu den gekennzeichneten Anomalien siehe Text.

Ein Rechteckhof bei Osterholz, Gde. Kirchheim am Ries, Ostalbkreis

Von dem Luftbildarchäologen Otto Braasch wurde 1998 westlich des Weilers Osterholz ein Rechteckhof entdeckt, der im März 2004 geomagnetisch kartiert und anschließend großflächig archäologisch untersucht worden ist.

Die untersuchte Fläche umfasst ein Areal von 160 m × 160 m und wird durch einen asphaltierten Feldweg, dessen magnetisches Abbild im Magnetogramm Abbildung 28 mit (G) bezeichnet ist, in nahezu zwei gleich große Teilflächen unterteilt. Das Magnetogramm weist neben einem Palisadengraben (A), der im westlichen Bereich der Messfläche bei (B) vollständig ero-



28 Magnetogramm eines keltischen Rechteckhofes bei Osterholz. Erläuterungen zu den gekennzeichneten Anomalien siehe Text.

diert ist, eine weitere Grabenstruktur (C) bislang unbekannter Bedeutung am Ostrand des Rechteckhofes auf. Die geomagnetische Kartierung konnte zudem eine weitere, parallel zum östlichen Palisadengraben (A) verlaufende Unterteilung (D) in Form eines Gräbchens wie auch mehrere rechteckig ausgeführte Strukturen (E) im Inneren der Anlage erfassen, die zu mehreren Gebäuden der Innenbebauung gehören. Dunkel ausgeprägte Lineamente, wie die mit (F) markierte Anomalie, die an der Erdoberfläche nicht sichtbar gewesen sind, dürften auf neuzeitlichen und landwirtschaftlichen Einfluss zurückgehen. Die unterschiedliche Qualität der erfassten Strukturen beiderseits des Feldweges ist auf eine unterschiedlich intensive landwirtschaftliche Nutzung verschiedener Bewirtschafter zurückzuführen.

Höhensiedlungen

Das Gipfelplateau des Ipf, Stadt Bopfingen, Ostalbkreis

Das Magnetogramm des Gipfelplateaus des Ipf (Abb. 29) enthält eine Fülle unterschiedlichster Anomalien, die auf den ersten Blick eher verwirrend als über die archäologische Siedlungsstätte aufklärend erscheinen mögen. Eine längere und intensive Betrachtung dieser oft schwach ausgeprägten Strukturen ist daher nötig, um sich ein detailliertes Bild von den Siedlungsstrukturen auf dem Hochplateau machen zu können.

Auffallend sind zunächst langgestreckte, oft rechtwinklig zueinander angeordnete (A), teilweise gebogene Lineamente (B), die sich als helle Linien im Magnetogramm abbilden und sich über weite Bereiche der Hochfläche erstrecken. Diese geomagnetischen Störfelder sind charakteristisch für Grabenstrukturen. Wir können jedoch nicht a priori damit rechnen, dass all diese Strukturen anthropogenen Ursprungs sein müssen. Eine denkbare Ursache für die Ausbildung dieser Anomalien sind auch geologische Kluftsysteme. Geomagnetische Anomalien von künstlichen Gräbchen- und natürlichen Kluftsystemen sind nicht immer voneinander zu unterscheiden. Dennoch ist davon auszugehen, dass die meisten dieser Strukturen auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen sind. Zudem ist auffällig, dass zahlreiche lineare und rechteckige Strukturen von Gräbchen von dem antiken und modernen Zugang im Süden her auf das Plateau in das Zentrum der Fläche verlaufen.

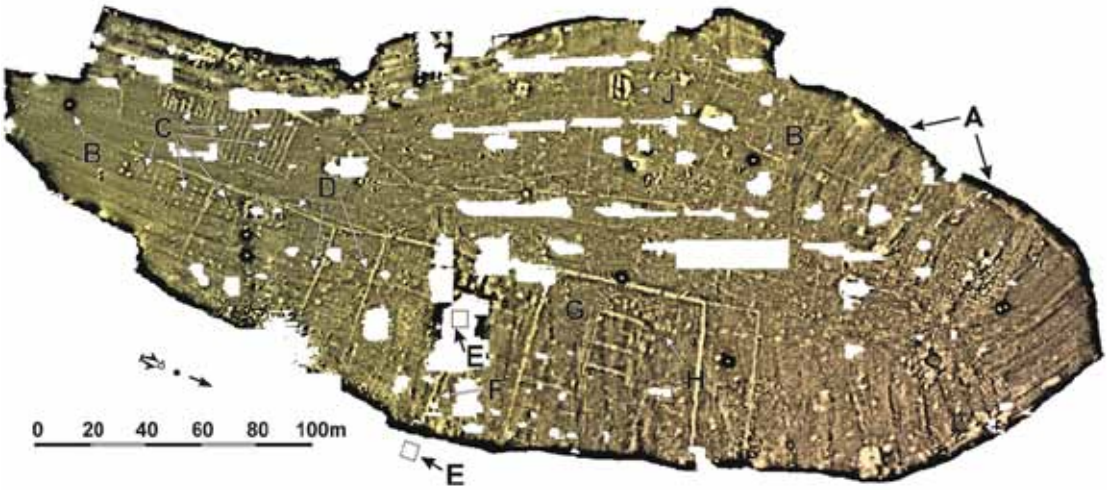
Feinere, wesentlich schwächer ausgeprägte Lineamente (C) oder die im Vergleich hierzu wesentlich deutlicher erkennbaren Anomalien (D) basieren auf

29 Kombination von Magnetogramm und Luftbild des Plateaus des Ipf bei Bopfingen. Erläuterungen zu den gekennzeichneten Anomalien siehe Text.

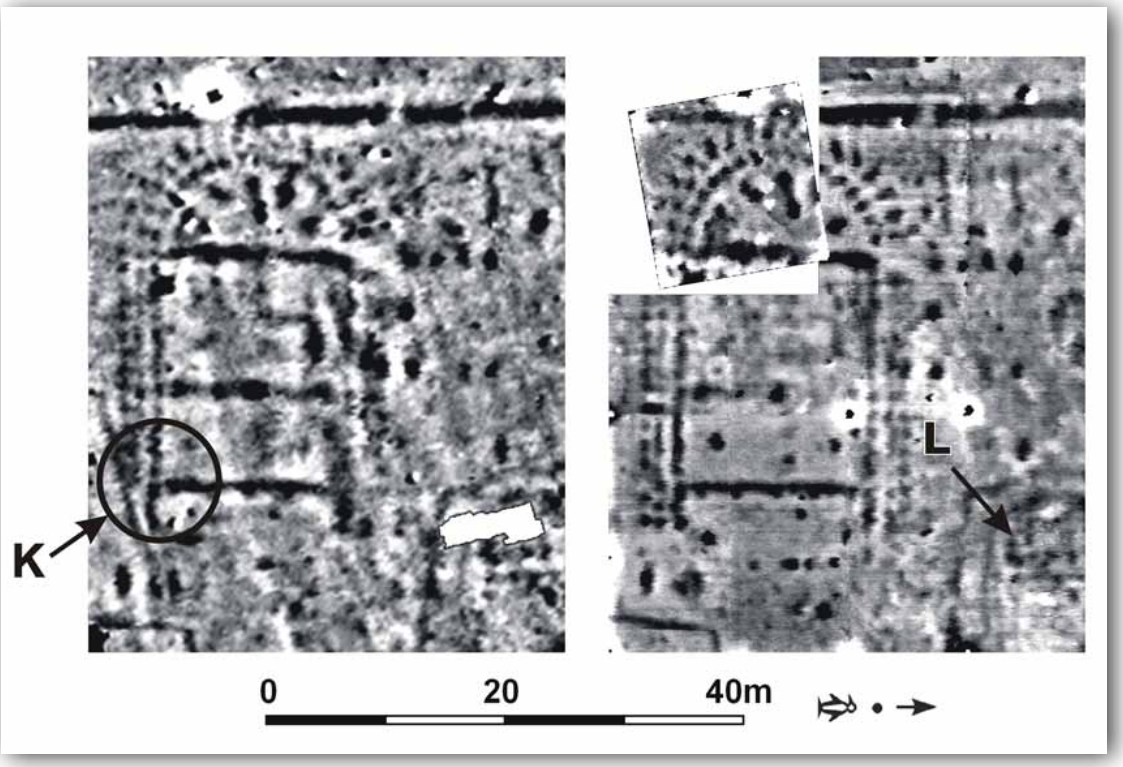
Beackerungsspuren neuzeitlicher landwirtschaftlicher Nutzung. Die stark ausgeprägten sichelförmigen Anomalien (E) resultieren hingegen aus möglicherweise neuzeitlichen Eingriffen in die Topographie.
Mit (F) ist in der Abbildung 29 die Hangkante gekennzeichnet; jenseits davon fällt das Gelände steil ab. Die geomagnetische Kartierung haben wir über diese Hangkante hinaus durchgeführt. Dabei konnten weitere Anomalien (G) erfasst werden, die auf eine Befestigungsanlage (beispielsweise einen Palisadenzaun) hinweisen, die wenige Höhenmeter unterhalb des Plateaus um den Berg herum geführt gewesen sein muss.

Plateau des Mont Lassois, Dép. Côte d'Or, Frankreich

Nachdem zwei kleinflächige Testmessungen an einem Samstag im Juni 2002 Grabenstrukturen aufzeigten, wurde 2003 das gesamte Plateau des Mont Lassois geomagnetisch untersucht (Abb. 30). Das Magnetogramm beweist, dass die gesamte Fläche des Berges besiedelt gewesen ist. Da die Fläche zur Zeit der Messungen noch als Schafweide genutzt wurde, ist das Plateau mit einem Zaun umgeben, der sich im Magnetogramm als schwarz ausgeprägte Anomalie (A) abzeichnet. Kreisrunde, schwarze Störfelder mit weißem Kern, von denen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur zwei mit (B) markiert sind, zeigen die Lage von Vermessungspunkten auf. Im Südbereich sind im Magnetogramm viele linear angeordnete Pfostenlöcher zu erkennen, die auf große, langgestreckte Bauten hindeuten (C). Mit Gräben (D) scheinen große Teile des Plateaus in einzelne Bereiche aufgeteilt worden zu sein. Die eingezeichneten Quadrate (E) markieren groß angelegte Zisternen, die oberflächennah offensichtlich mit einem Kanälchen (F) verbunden gewesen sind. In einer der von Gräben umgebenen Teilflächen konnte ein großes Gebäude – bislang unbekannter Bedeutung – mit dreifacher Apsis (G) erfasst werden, das wohl einen relativ großen Vorbau (H) besaß. Mit (J) bezeichnet ist ein Gebäude, das wohl in den 1950er oder 1960er Jahren archäologisch untersucht worden ist. Noch heute sind die Sondageschnitte im Gelände er-



30 Nachweis der keltischen Besiedlung der Hochfläche des Mont Lassois bei Vix durch die geomagnetische Kartierung.



31 Erhöhung des Informationsgehaltes in Magnetogrammen durch Verringerung des Messpunktabstandes am Beispiel eines keltischen Gebäudes auf dem Mont Lassois: 16 Messungen pro qm (linke Teilabbildung) und 64 Messungen pro qm (rechte Teilabbildung). Weitere Erläuterungen im Text.

kennbar. Etwa 30 m südlich davon stand ein weiteres, kleineres Gebäude ebenfalls unbekannter Bedeutung. Eine weitere archäologische Untersuchung fand dem Magnetogramm zufolge im nördlichen Bereich der Messfläche statt: Im Ergebnis der geomagnetischen Kartierung ist ein schwarz umrandetes Rechteck zu erkennen. Doch auch von dieser Grabung ist keine Dokumentation bekannt. Langgestreckte, dunkle und in etwa parallele Lineamente im Nordbereich der Messfläche entsprechen Feldgrenzen und Steinanhäufungen und stammen aus jüngerer Zeit, als Teile des Plateaus noch landwirtschaftlich genutzt worden sind.

Basieren diese Messungen auf einem Messraster von 0,25 m × 0,25 m, so zeigen weitere, in einem engeren Raster von 0,125 m × 0,125 m durchgeführte Messungen im Bereich des Apsiden-Baus (G), dass sich nördlich von diesem Gebäude ein weiteres, kleineres Gebäude (L) von sehr ähnlicher Bauart befand. Zudem konnten die Strukturen dieses Hauses wesentlich besser erfasst werden als bei der Messung im größeren Messraster (siehe Vergleich der beiden Messungen, Abb. 31). Dies ist nicht nur bei den mit (K) markierten Anomalien zu erkennen. Beispielsweise zeigen sich nun auch westlich davon signifikant bessere Auflösungen der einzelnen Pfostengrubenreihen. Zwischen der Durchführung beider Einzelmessungen wurde eine Buschgruppe innerhalb der Messfläche entfernt. Daher ist die in der linken Teilabbildung auffällige, weiße Teilfläche, die von den Messungen ausgespart werden musste, in der rechten Teilabbildung nicht mehr enthalten. Die Messlücken und die unterschiedliche Ausrichtung der beiden Messflächen (Abb. 31, rechts) haben ihre Ursache in verschiedenen Grabungssystemen zweier Grabungsmannschaften.