

I. ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

Erdwissenschaftliche Untersuchungsmethoden (Geophysikalische - Physiogeographische) für Archäologische Forschungen

Neubauer Wolfgang* Trnka Gerhard*
Verginis Spyridon** Zamani Athina***

Einführung

Die meisten der zur Zeit bekannten mittelneolithischen Kreisgrabenanlagen wurden durch die Luftbildarchäologie entdeckt und liegen in intensiv bebauten Lössböden von Niederösterreich. Diese fast 30 kreisförmigen, ein- bis dreifachen Grabenanlagen stammen aus der Zeit des 5. Jahrtausends vor Christus. Aufgrund der starken Erosion in den ausgedehnten, dem Wind ausgesetzten Feldern, sind sie sehr stark von Zerstörung bedroht. Systematische Luftbildbeobachtungen während der letzten 20 Jahre zeigten eine rapide wachsende Zerstörung dieser Denkmalgruppe.

Topographisch sind diese Anlagen immer in Hanglage, auf Geländekuppen und -rücken oder Terrassen errichtet worden. In Österreich lässt sich aufgrund der zahlreich nachweisbaren Kreisgrabenanlagen eine beachtliche Formenvielfalt feststellen, was sowohl die Zahl der Gräben und Tore, wie auch ihre Größe betrifft. Ihre Durchmesser liegen zwischen 44 und 140 Meter. Bei den mehrfachen Anlagen sind die Grabendurchmesser derart aufeinander abgestimmt, dass ein gleich breiter Zwischenraum entsteht, wobei das Verhältnis der Radien je nach Anzahl der Gräben 3:2 beziehungsweise 4:3:2 beträgt. Die Gräben können eine Breite bis zu 10 Meter und mit ihrem charakteristischen V-förmigen Profil eine Tiefe von 5 Metern erreichen. Die Anzahl der Eingänge variiert zwischen einem einzigen Tor bis zu sechs Erdbrücken. Meistens kommen allerdings zwei oder vier Zugänge vor. Im Inneren finden sich gleichfalls konzentrische und die Gräben begleitende Palisadenreihen, die lediglich im Bereich der Tore schmale Unterbrechungen aufweisen und somit keinen Blick in den Innenraum erlauben. Wozu diese Kreisgrabenanlagen letztlich gedient hatten (Kultplätze, Zentren für bestimmte religiöse Handlungen oder Zusammenkünfte etc.), konnte durch die archäologische Forschung bisher noch nicht in Erfahrung gebracht werden.

Da eine Aufnahme aller dieser Fundstellen durch zeit- und kostenaufwendige Ausgrabungen nicht möglich ist, wurde nach einer schnellen, kostengünstigen und zerstörungsfreien Prospektionsmethode gesucht. Obwohl das Luftbild von erstrangiger Bedeutung für das Erkennen und die Prospektion archäologischer Bodendenkmale ist, sind in vielen Fällen Eingänge oder sonstige bautechnische Details durch verschiedene Sedimentations- und Erosionsprozesse an der Bodenoberfläche nicht feststellbar. Für die Lösung dieses Problems schien die Anwendung von geophysikalischen Prospektionsmethoden, im Besonderen der Magnetik, zur großflächigen Aufnahme der Kreisgrabenanlagen am geeignetsten zu sein.

Durch die Magnetik wird eine Erkundung und Planlegung auch der noch unzerstörten Bereiche eines Bodendenkmals oder der aus der Luft nicht sichtbaren Objekte und des weiteren Umfeldes ermöglicht. Die rasche und von äusseren Einflüssen wie gutem Flugwetter, episodischer Sichtbarkeit, Bewuchs usw. unabhängigen Methoden erlauben die Erfassung grosser Flächen mit bis zu Dezimeter Genauigkeit. Solche großflächigen Kartierungen und die daraus erstellten Planunterlagen können sowohl zur wissenschaftlichen Beurteilung des jeweiligen Bodendenkmals, der Beweisführung oder Auswahl für Unterschutzstellungen, als auch für Grabungsvorbereitungen herangezogen werden. Die umfassende Prospektion einer Denkmalsgruppe gibt dem Archäologen in kurzer Zeit Unterlagen für typologische und technische Vergleiche in die Hand und ermöglicht weiterführende Interpretationen. Besondere Bedeutung erlangt eine weitergeführte Interpretation der Daten in Hinsicht auf den Zerstörungsgrad einzelner Objekte. Dies macht eine Beurteilung von notwendigen und noch aufschiebenden Ausgrabungen möglich.

Eine besonders wichtige naturwissenschaftliche Disziplin ist die Sedimentologie für die Untersuchung der Grabenprofile, da dadurch die Verfüllungsprozesse der Gräben dargestellt werden können. Im allgemeinen ermöglicht der Einsatz der Erdwissenschaften die Lösung geologisch-morphologischer und bodenkundlich-sedimentologischer Probleme innerhalb der archäologischen Forschung.

* Institut für Ur- und Frühgeschichte
Franz Kleingasse 1, Wien, Österreich
** Institut für Geographie
Liebiggasse 5, Wien, Österreich
*** Institut für Geographie
Panepistimioupolis, Athen, Griechenland

Geophysikalische Prospektion von Kreisgrabenanlagen in Österreich

Grundlagen der Magnetik für archäologische Anwendungen

Die Magnetische Prospektion beruht auf hochauflösenden Messungen des Erdmagnetfeldes. Die Einheit in der die Feldstärke gemessen wird ist das Nanotesla (nT). Die einzelnen Messungen werden in einem rechteckigen Raster alle 50 Zentimeter von einem Magnetometer, das knapp über der Oberfläche geführt wird, aufgenommen. Das in Österreich zur Zeit in Gebrauch stehende Cäsiummagnetometer erlaubt, bei einer Genauigkeit von 0.1 nT, eine Aufnahme von 3200 Messpunkten in der Stunde, was einer Fläche von 800 Quadratmetern entspricht. Die geringe Messzeit von 0.1 s erlaubt eine kontinuierliche Bewegung des Messgerätes über die aufzunehmende Fläche. Gemessen wird mit zwei Sensoren in Gradiometeranordnung, automatischer Messauslösung und elektronischer Datenerfassung auf einem Mikrocomputer. Die Erkundung archäologischer Strukturen beruht auf der Erfassung kleinräumiger magnetischer Anomalien, die sie im Erdmagnetfeld erzeugen. Diese geringen Abweichungen vom Normalwert (0.1 bis 100 nT) rühren von unterschiedlicher Magnetisierung des Untergrundes her. Die Bodenmagnetisierung berechnet sich aus dem Produkt der Feldstärke mit einer Eigenschaft des Bodens, die als magnetische Suszeptibilität bezeichnet wird. Der Ursprung dieser magnetischen Suszeptibilität liegt in den im Boden enthaltenen Eisenoxiden, besonders Hämatit (α Fe₂O₃), Maghämät (γ Fe₂O₃) und Magnetit (Fe₃O₄), die alle ferrimagnetisch sind, wobei Hämatit verglichen mit den anderen beiden schwach magnetisch ist. Die obersten Bodenschichten zeigen eine erhöhte Suszeptibilität verglichen mit den darunterliegenden Horizonten, eine Tatsache die als Le Borgne Effekt bekannt ist. Zur Erklärung dieses Effektes werden zwei Mechanismen angeführt. Beide beinhalten eine Umwandlung des schwach magnetischen Hämatits zum stärker magnetischen Maghämät durch Reduktion zu Magnetit und nachfolgender Oxidation. Dies kann erstens durch Fermentationsprozesse während dem Zerfall von organischem Material geschehen und zweitens durch den Einfluss von Hitze erklärt werden, wie sie bei Bränden aller Art entsteht. Brände erhöhen die Suszeptibilität zusätzlich, da Eisenoxide die über den Curiepunkt erhitzt werden und ungestört im Erdmagnetfeld abkühlen einen thermoremanenten Magnetismus aufweisen. Ein Phänomen, welches vor allem für die erhöhte Suszeptibilität von wiederverfüllten Gräben und Gruben von Bedeutung ist, ist die viskose Magnetisierung. Sie beruht auf der Fähigkeit von feinen Körnern mit einem einzigen magnetischen Einzelbezirk zu einer spontanen Ummorientierung in Richtung des herrschenden Magnetfeldes durch Absorption von thermischer Energie. Bei Zimmertemperatur hängt diese Ummorientierung von der Korngröße und von der Zeit ab.

Magnetisch prospektierbare Strukturen umfassen alle Arten von Gruben mit mehr oder weniger organischem Inhalt, mit Oberflächenmaterial gefüllte Gräben, Feuerstellen und Öfen, die als positive Anomalien erscheinen. Negative Anomalien werden von Strassen, Mauern, Fundamenten etc. verursacht. Die Anomaliestärke beruht aber nicht nur auf einer erhöhten Suszeptibilität, sondern vor allem auf dem Suszeptibilitätskontrast der archäologischen Struktur gegenüber dem umgebenden Boden.

Die Auswertung der umfangreichen Datenmenge einer magnetischen Prospektion erfolgt mit Computern. Prinzipiell sind drei Möglichkeiten der Darstellung der Messergebnisse zu unterscheiden, wobei die einfachste in Form eines Isolirienplans (Abb. 5) besteht. Perspektivische oder dreidimensionale Darstellungen (Abb. 3,4)

sind für die quantitative Analyse des Datenmaterials eher ungeeignet, erlauben aber eindruckliche Darstellungen von Anomalien mit einfacher Geometrie. Geeigneter sind Darstellungen in Punktdichteschicht (point density plots) (Abb. 8), die jeden Messwert in eine proportionale Anzahl von Punkten übersetzt. Die beste Auswertung stellt die Verarbeitung als digitales Bild (Abb. 2,6,7)

Geophysikalische Prospektion von Kreisgrabenanlagen in Österreich

dar. Hierbei werden die Messwerte in Form eines Graustufenbildes dargestellt, das eine hohe visuelle Perzeption für den interpretierenden Archäologen ermöglicht. Dies beruht auf der Fähigkeit des menschlichen Auges, auch noch geringe Unterschiede in Graustufen zu unterscheiden. Auf der anderen Seite ermöglicht die digitale Bildverarbeitung verschiedene Bildverbesserungstechniken zur Erhöhung der Bildqualität und der Trennung von Hintergrundrauschen (noise) und archäologischen Anomalien. Digitale Bilder, ähnlich einer Photographie, sind sowohl von Archäologen, als auch von Laien leicht zu verstehen und sind auch für Unterschutzstellungen eine geeignete Argumentationsgrundlage.

Anwendungen

Für den speziellen Fall von mittelneolithischen Kreisgrabenanlagen, soll ihre besondere Eignung für eine magnetische Prospektion näher erläutert werden. In fast allen Fällen wurden die Gräben in Löss eingetieft. Eine vereinfachte Ausgangslage stellt ein A-Horizont mit erhöhter Suszeptibilität und ein homogener, feinkörniger C-Horizont mit geringer Suszeptibilität dar. Ober- und Unterboden werden beim Ausheben des Grabens vermischt und in Grabennähe abgelagert. Diese Ablagerungen und Oberflächenmaterial werden periodisch durch Regenfälle in den Gräben gespült und bilden feine Sedimentationsschichten. Nach dem Verlassen der Kreisgrabenanlage verfüllen sich die Gräben entweder natürlich oder von Menschenhand mit mehr oder weniger humosen Material von der Oberfläche. Die letzten Eintiefungen werden sehr langsam durch lehmiges und schluffiges Material von der erodierten Oberfläche ausgebnet. Der resultierende Störkörper weist eine erhöhte Suszeptibilität, einen hohen Kontrast zum umgebenden Boden und aufgrund des zumeist stark erodierten Oberflächenbodens einen geringen Anteil an natürlichem Hintergrundrauschen auf. Die Ergebnisse verschiedener Prospektionen von Kreisgrabenanlagen zeigen die Vorteile und Kosteneffizienz der Magnetik.

Strögen, Niederösterreich

(Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3, Abb. 4)

Die zweifache Kreisgrabenanlage zeigt eine leicht ovale Form, wobei der Durchmesser des äusseren Grabens 75 m, der des inneren Grabens 50 m beträgt. In N-S Richtung zeigt die Anlage eine Abflachung von ca. 2 m von der idealen Kreislinie. Die Breite der Gräben variiert zwischen 2.5 m und 3.5 m, was sicherlich mit dem unterschiedlichen Erosionsgrad zu erklären ist. Jeder der Kreisgräben besitzt zwei ungefähr O-W gerichtete Toranlagen, in Form von Grabenunterbrechungen mit ca. 3 m Breite. Der Innenbereich zeigt zwei konzentrisch verlaufende Palisadengraben, die jedoch nicht durchgehend von der Messung aufgelöst worden sind. Es scheint, dass wir im nördlicheren Teil mit einer stärkeren Zerstörung der Kreisgrabenanlage durch Erosion zu rechnen haben. Dies lässt sich auch mit der Anomaliestärke in diesem Bereich beobachten.

Nordwestlich der Anlage befinden sich mehrere Dipol-Anomalien, die mit Gruben in Verbindung stehen dürften. Dabei fällt vor allem eine grössere rechteckige Anomalie auf, die in ihren Eckbereichen jeweils mit kleineren Anomalien überlagert ist, und mit einem Hausgrundriss in Zusammenhang stehen könnte. Aufgrund von Oberflächenfunden sind diese Strukturen als frühbronzezeitlich anzusprechen. Sie dürften auf jeden Fall schon sehr stark in Zerstörung begriffen sein. Im nördlichen Vorfeld befinden sich noch drei weitere etwas grössere Gruben, die alle ungefähr dieselben Anomaliestärken aufweisen. Auffallender sind jedoch die starken Anomalien südöstlich der Anlage, wobei hier, aufgrund der Anomaliestärke durchaus ein Zusammenhang mit der Kreisgrabenanlage anzunehmen ist. Es handelt sich hier auf jeden Fall um grössere Grubenobjekte, wobei vor allem eine Anomalie durch die Achterform auffällt. Es dürfte sich hier um zwei sich überschneidende, kreisförmige Gruben handeln, wobei die kleinere Grube als eher jünger anzusprechen ist. Ueber das ganze Messgebiet verteilt, zeigen sich immer wieder kleinere sehr starke Dipolstrukturen, die auf rezenten Eisenteilen in der Ackerschicht beruhen.

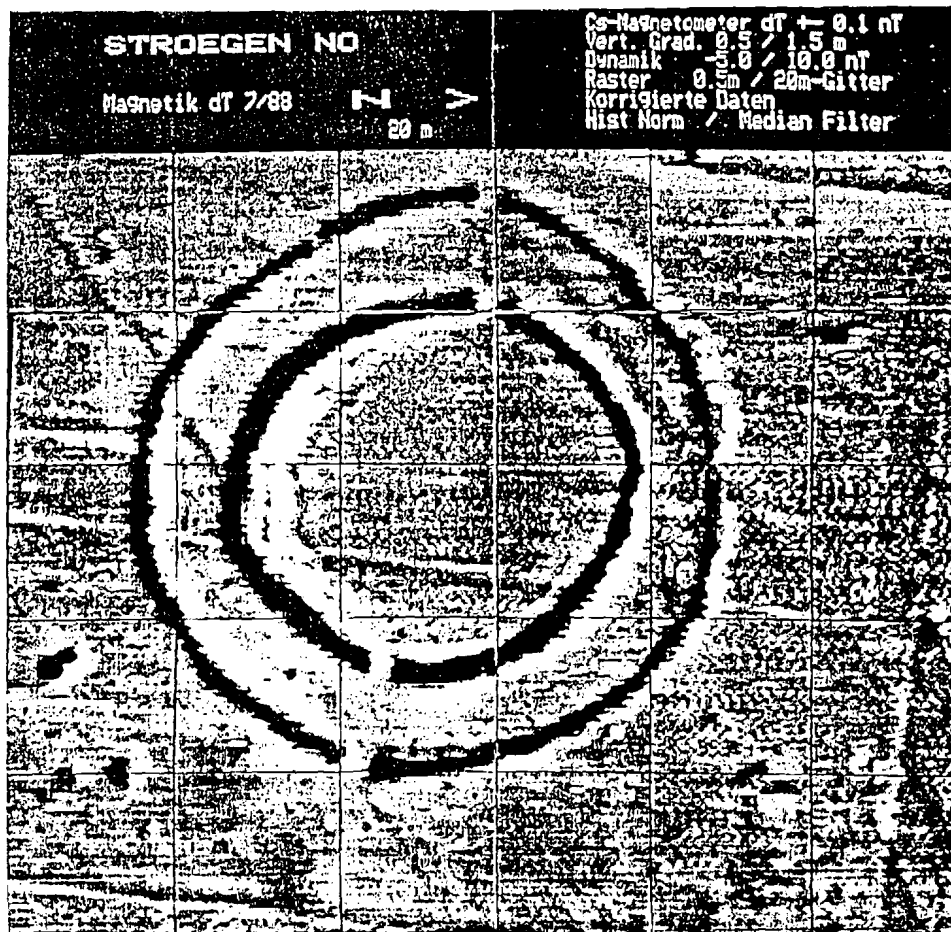
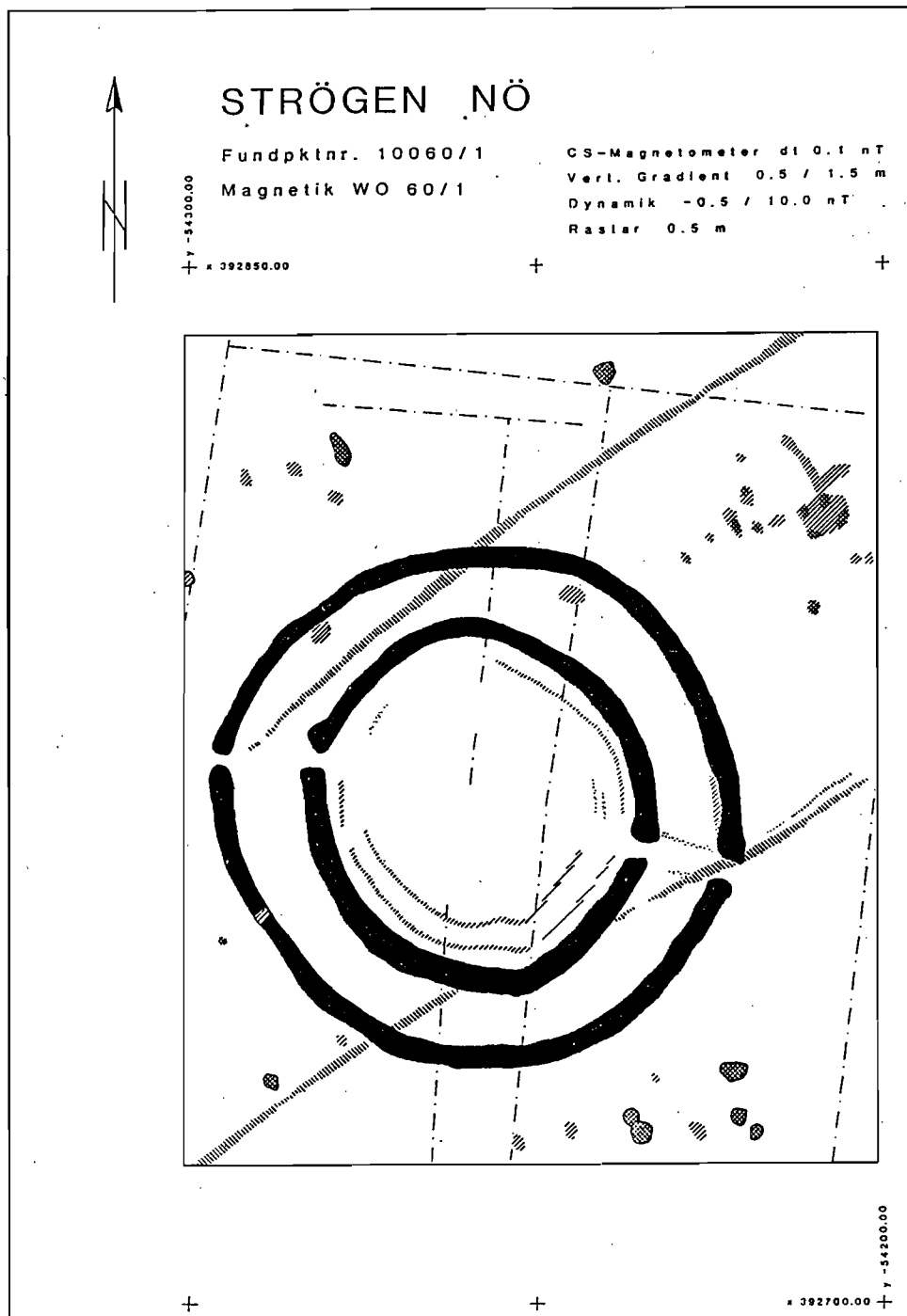


Abb. 1 Digitales Bild der zweifachen Kreisgrabenanlage von Strögen, Niederösterreich nach Medianfilterung

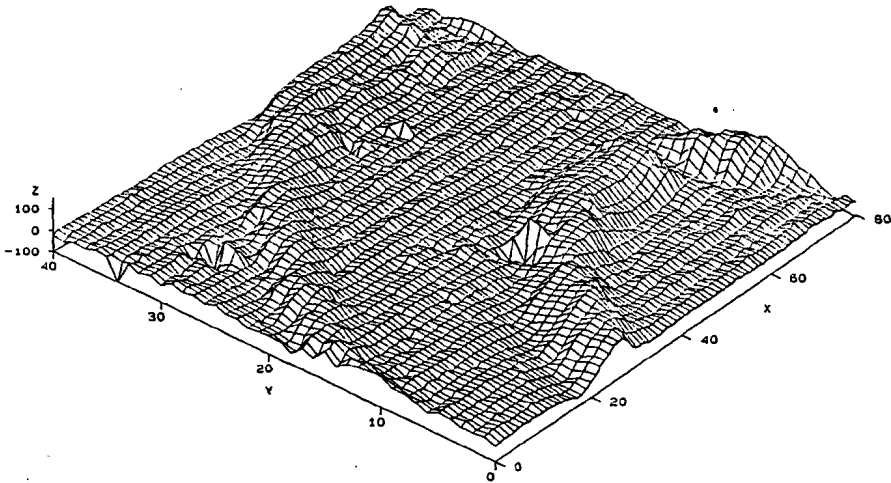
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Abb. 2 Archäologische Interpretation der magnetischen Prospektion der Kreisgrabenanlage Strögen, Niederösterreich.



ANCH geo prospections 88

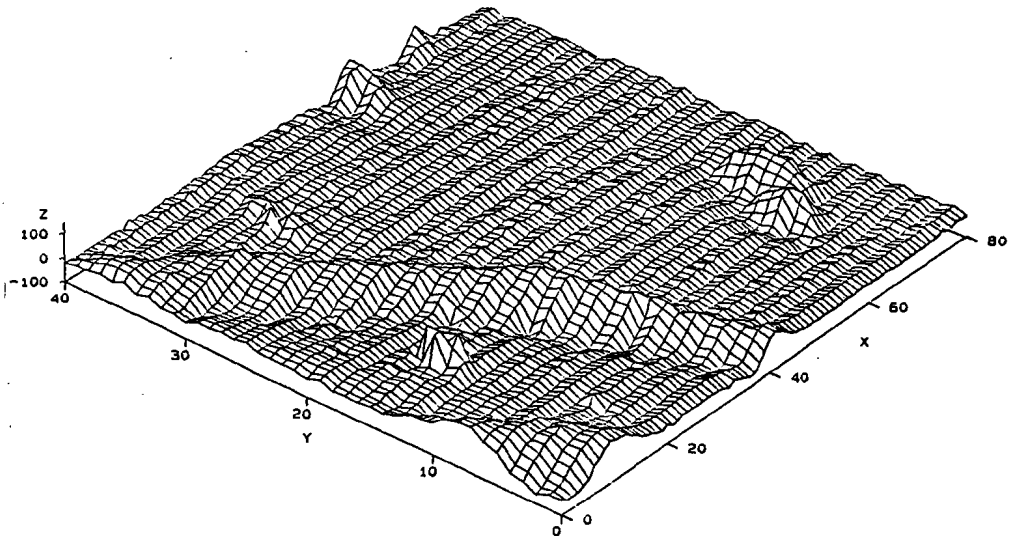
NEOLITHISCHE KREISGRABENANLAGE STROEGEN NIEDEROESTERREICH



magnetische Prospektion 1988 anch

Abb. 3 Dreidimensionale Darstellung eines Ausschnittes der Kreis grabenanlage Strögen, Niederösterreich.

NEOLITHISCHE KREISGRABENANLAGE STROEGEN NIEDEROESTERREICH



magnetische Prospektion 1988 anch

Abb. 4 Dreidimensionale Darstellung eines Ausschnittes der Kreis grabenanlage Strögen, Niederösterreich.

Rosenburg, Niederösterreich

(Abb. 5, Abb. 6, Abb. 7)

Das Ergebnis der Messungen zeigt einen einfachen Kreisgraben mit zwei N-S gerichteten Toranlagen und einem Nord-Süddurchmesser von 44 m, in O-W Richtung dagegen 42 m. Das nord-östliche Viertel weicht in Form einer Abflachung stärker von der idealen Kreislinie ab. Die Westhälfte des Grabens ist bei weitem deutlicher ausgebildet. Dies korrespondiert auch mit den Luftbildern, sodass für die süd-östlichen drei Achtel des Grabens mit einer stärkeren Zerstörung durch Erosion gerechnet werden muss. Aufgrund der zu grossen Messpunktabstände von einem Meter, wurden bei dieser Anlage die Palisadengräbchen innen nicht mehr aufgelöst. Das gesamte Bild wird durch eine sehr starke positive Anomalie, geologischen Ursprungs, gestört. Es dürfte sich am ehesten um eine Kiesbank des nahen Flusses Kamp handeln, wobei ein hoher Anteil an metamorphen Gesteinen vorausgesetzt werden kann. Ueber diesen Sedimenten befindet sich eine grössere Lössakkumulation, in die der Kreisgraben eingetieft worden ist. Der Vergleich der Interpretation des Magnetogramms mit den Grabungsergebnissen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung, aber auch den unzureichenden Auflösungsgrad aufgrund der zu grossen Messpunktabstände.

Hornsburg Niederösterreich

(Abb. 8, Abb. 9)

Die dreifache Kreisgrabenanlage zeigt eine leicht ovale Form. Die Durchmesser der Kreisgräben gemessen in der Grabenmitte variieren beim Innengraben zwischen 55.0 und 59.5 m, beim mittleren zwischen 82.0 und 85.0 m und beim Aussengraben zwischen 98.5 und 108.5 m. Als mittlere Grabendurchmesser können 57.0 m, 83.5 m und 103.5 m angegeben werden. Jeder der Kreise besitzt zwei Ost-West gerichtete Toranlagen in Form von Grabenunterbrechungen mit durchschnittlich ca. 5 m Breite. Die beiden äusseren Kreisgräben weisen im Torbereich einziehende Flanken auf, die im Magnetbild unterschiedlich stark zu erkennen sind. Ob dies mit unterschiedlichen Grabentiefen oder andersartigen Verfallungen zusammenhängt kann nicht entschieden werden. Diese in Richtung Kreismitte verlaufenden Grabenerweiterungen weisen eine mittlere Länge von 10 m auf, ihre Breite entspricht den anderen Grabenabschnitten.

Besonders auffallend ist der unregelmässige Grabenverlauf der zwei äusseren Gräben im südlichen Abschnitt. Der äussere Graben weist hier auf ca. 15 m Länge eine Einbuchtung zur Kreismitte hin von 3 m von der idealen Kreislinie auf. Auffällig ist auch die Südausrichtung dieser Einbuchtung. Der mittlere Graben weist ebenfalls eine kleinere, etwas nach Osten versetzte Einbuchtung auf.

Im Innern der Anlage konnten keine Palisadengräbchen festgestellt werden. Etwas abseits der Torachsen in 20 m Entfernung vom inneren Osttor zeigen sich zwei Anomalien die ihren Ursprung in Gruben haben dürften. Beide Gruben haben eine längliche Form mit Längsdurchmessern von 2.50 und 5.0 m. Eine Zugehörigkeit zur Kreisgrabenanlage scheint aufgrund der Lage und der Anomalieform und -stärke durchaus möglich.

Über die gesamte Messfläche verteilt finden sich immer wieder Anomalien mit starken Minima die als rezente Eisenteile in der Ackerschicht anzusprechen sind. Auffallend sind vor allem eine grosse Anzahl solcher Störungen im Bereich der östlichen Toranlagen. Sie rühren von einem verflügten alten Weg her, wobei Wandziegelfragmente einen grossen Anteil haben. Die ausgeprägte Störung, die den nordwestlichen Abschnitt des Innengrabens überlagert, stammt von Eisenteilen eines barocken Wegkreuzes. Vor der Anomalie des Wegkreuzes finden sich weitere ausgeprägte Dipolanomalien, die ebenfalls von Eisenteilen herrühren dürften.

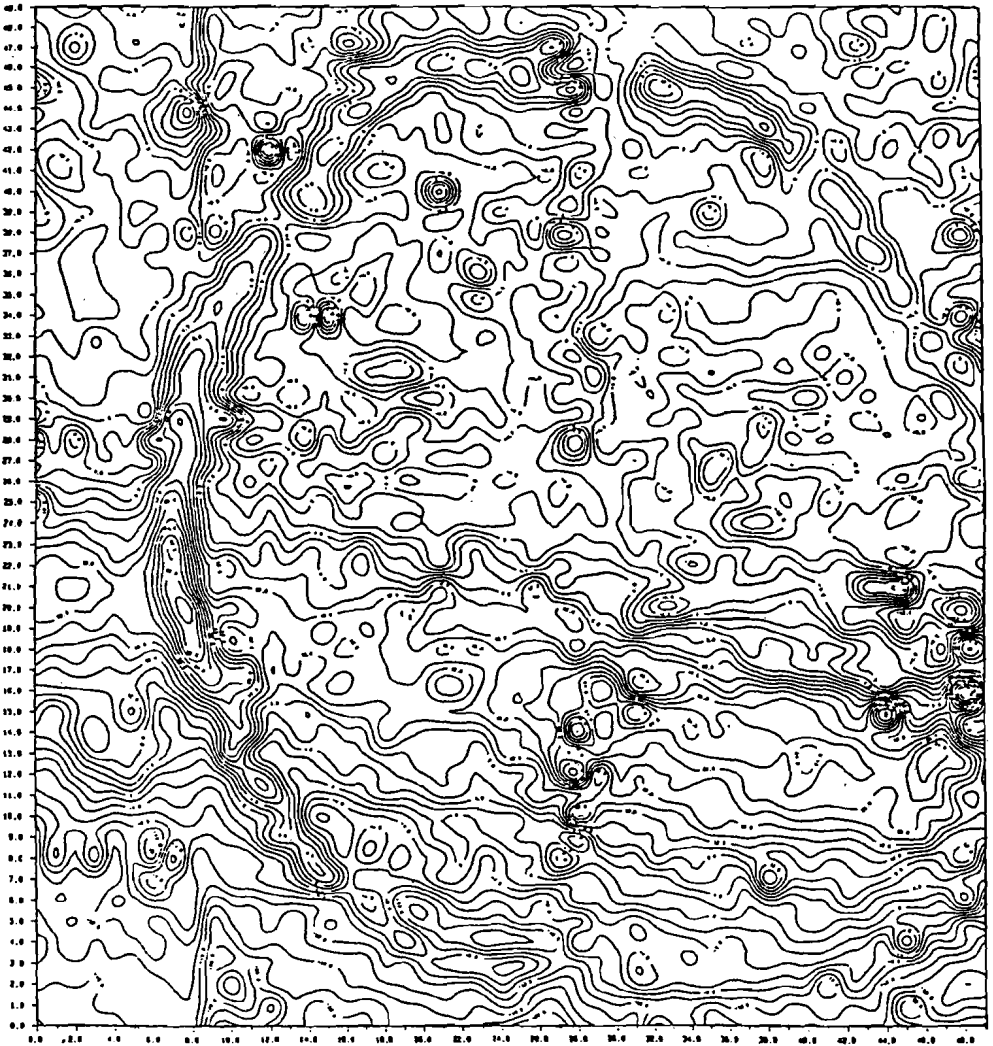


Abb. 5 Isolinienplan der Kreisgrabenanlage Rosenberg, Nieder österreich.



Abb. 6 Digitales Bild der einfachen Kreisgrabanlage von Rosenberg, Niederösterreich.

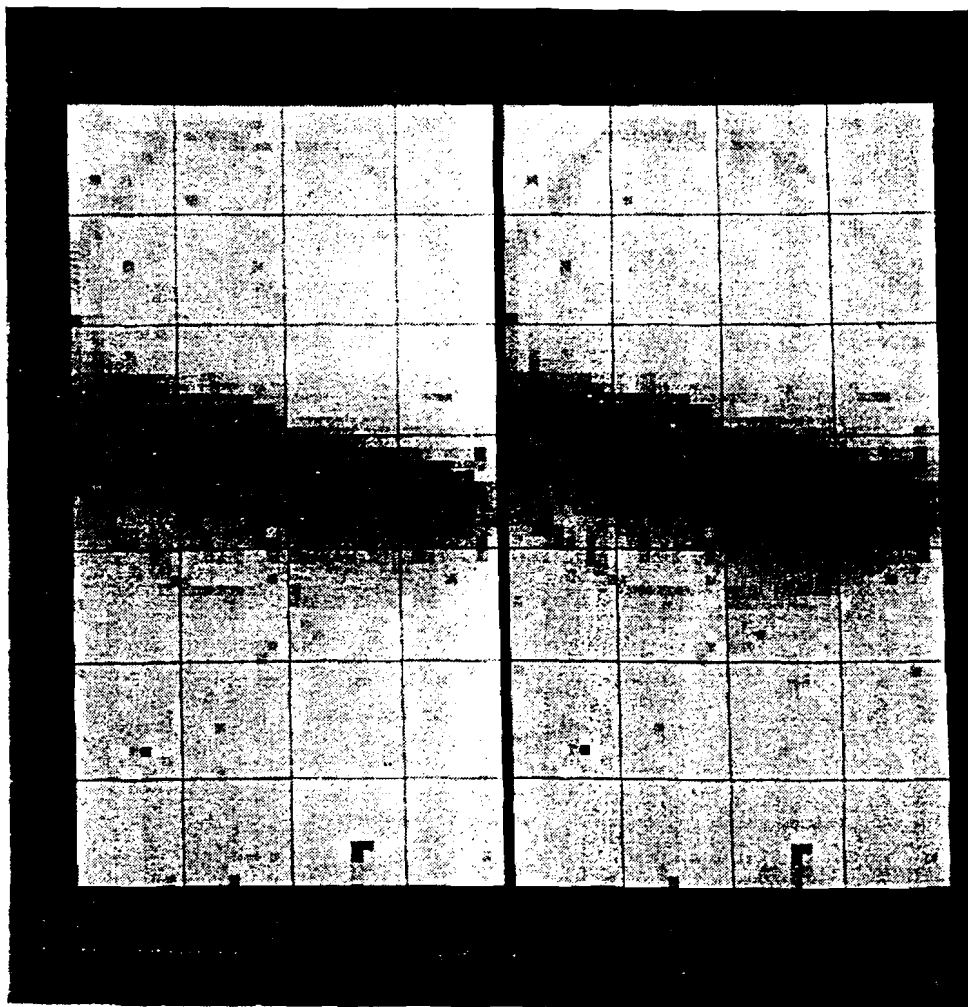


Abb. 7 Digitales Bild der einfachen Kreisgrabenanlage von Rosenberg, Niederösterreich.

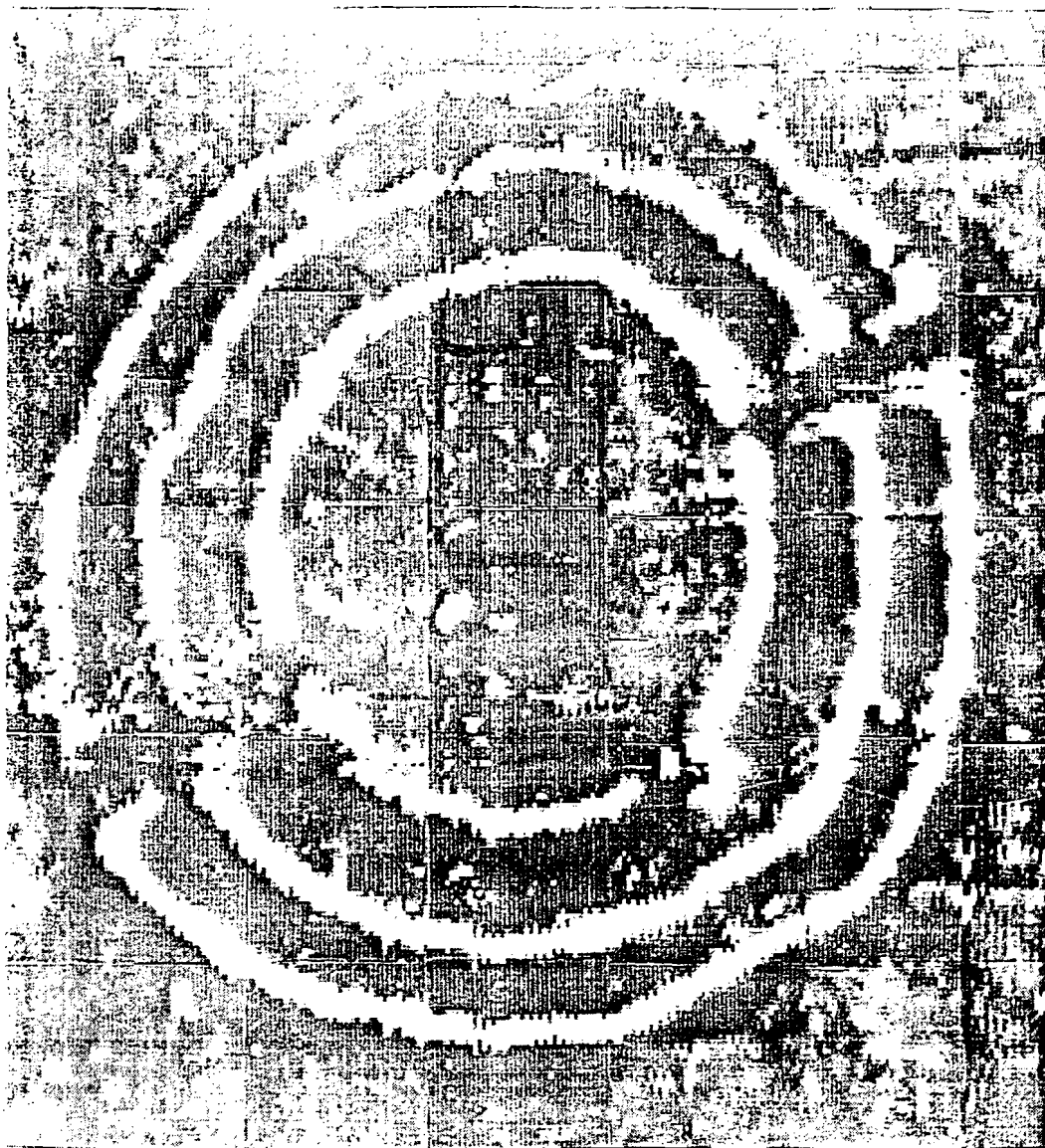


Abb. 8 Darstellung in Punktdichteschrift der dreifachen Kreisgrabenanlage von Hornsburg, Niederösterreich.

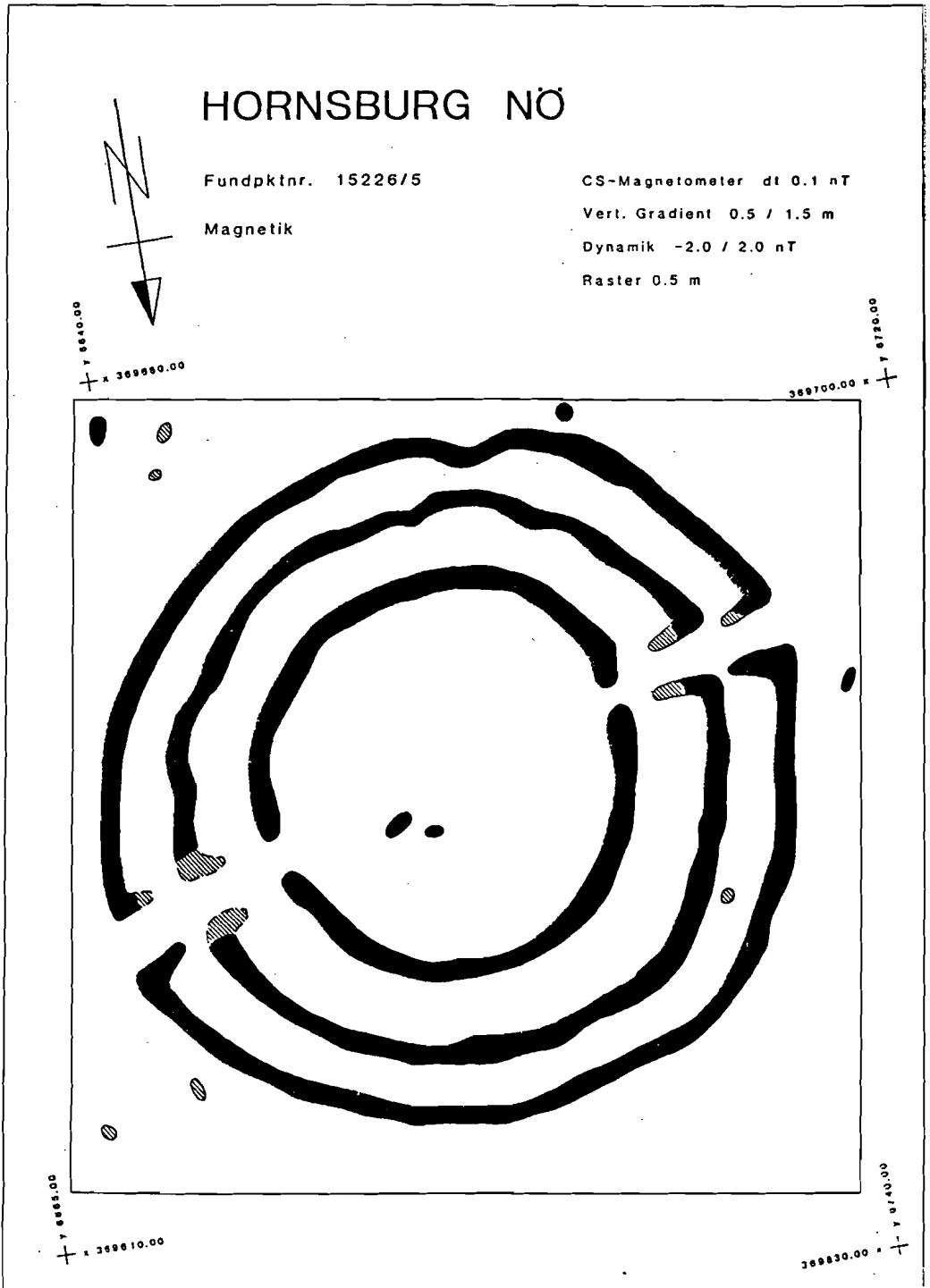


Abb. 9 Archäologische Interpretation der magnetischen Prospektion der Kreisgrabenanlage Hornsburg, Niederösterreich.

Erdwissenschaftliche Untersuchungen

Geländeaufnahme

Analytische Arbeit

Höhenlage

Sie entspricht einerseits dem "Relief" (Flachland, Tal, Hügelland, Becken, Gebirge, Hang, Terrasse, See, Schelf usw.), andererseits der "Exposition" (Luv-,Leeseite). Beide Faktoren sind wichtig für eine archäologische Forschung bzw. für die Zeichnung eines Profiles (morphologisches, bodenkundliches oder Standorteinheiten-Profil). Man kann diese beiden Faktoren auch gemeinsam in der Lithologie und den Böden des Untersuchungsgebietes und die entsprechende Verteilung (jährlich-jahreszeitlich) der Klimatelemente auf die Hydrologie des Raumes (ober- und unterirdische Wasserzirkulation) und auf die "natürliche" Vegetation und die vorwiegende Nutzung beziehen..

Lithologie

- im Hinblick auf die ökologische Wertigkeit

Man muss unbedingt die verschiedenen geologischen (= lithologischen) Einheiten abgrenzen, welche die Haupteinheiten des Raumes bestimmen. Die verschiedenen lithologischen Einheiten festes oder lockeres Gestein, karbonathaltiges oder karbonatfreies Gestein, magmatisches Sediment oder metamorphes Gestein, müssen vorweg bestimmt werden. Diese Einheiten bilden die Basis für die Bestimmung der ober- und unterirdischen Wasserzirkulation - jede geologische Einheit hat einen verschiedenen Infiltrationskoeffizienten - und sind auch gleichzeitig die Muttergesteine (Ausgangsmaterial) für die Bildung und Weiterentwicklung des Bodens.

Böden

Als Boden bezeichnet man das durch Verwitterung aus dem Muttergestein und aus Pflanzenresten hervorgegangene Umwandlungsprodukt, das unter dem Einfluss des Klimas und der Oberflächenverhältnisse an einem bestimmten Teil der Erdoberfläche entstanden ist.

Klimadaten

Zu den klimatischen Elementen gehören direkte und indirekte Beobachtungen. Unter "direkten" versteht man die jährliche bzw. jahreszeitliche Verteilung des Niederschlages, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und Windstärke (Daten die man aus einer oder mehreren Stationen des Untersuchungsgebietes erhält). Die "indirekten" sind die Berechnung der Verdunstung bzw. der potentiellen und tatsächlichen Evapotranspiration, Sonnenstrahlungskurven u.a., das heisst wichtige Faktoren für die Erstellung der Wasserbilanzdiagramme des Raumes, wobei besonders die Daten aus frühen Zeiten wichtig sind, die man weiter auf archäologische oder historische Probleme beziehen kann (Paläoklimatologie).

Erdwissenschaftliche Untersuchungen

Synthetische Arbeit

Die zuvor genannte analytische Tätigkeit an Geländeaufnahmen kann man zusammenfassen für die Erstellung erdwissenschaftlicher Karten in verschiedenen Maßstäben, auf denen alle analytischen Faktoren flächenmässig dargestellt werden können.

Morphologische und geomorphologische Kartierung 1:25000

Die geomorphologische Karte 1 : 25 000 mit Erläuterungsheft bezweckt in erster Linie eine Bestandesaufnahme und eröffnet weitgespannte und vielschichtige Anwendungsmöglichkeiten für Archäologen, Ur- und Frühgeschichtler, und zwar auch dann, wenn nur einzelne Kartenblätter vorliegen. Die geomorphologischen Sachverhalte und Faktoren, die für eine Interpretation und Bewertung des Reliefs relevant sind, sollen flächendeckend und in einer hinreichend topographischen und sachlichen Differenzierung dargestellt werden. Im einzelnen sind folgende Inhaltselemente in die Karte aufzunehmen :

1. Relief (Morphometrie und Morphographie)
 - Reliefeigenschaften, Reliefelemente, Reliefform, Reliefformengruppen.
2. Oberflächennaher Untergrund (Morphostruktur)
 - Substrat an der Erdoberfläche, Ausgangs- und Untergrundgestein. Der Untergrund mit Angabe über stratigraphische und tektonische Einheiten, wie er in der geologischen Karte wiedergegeben wird, kann auf einer Übersichtskarte beigelegt werden, so weit sich daraus wesentliche Gesichtspunkte für die geomorphologische Interpretation ergeben.
3. Morphogenese und Morphodynamik
 - Areale der Prozessgruppen, Abtragungs- und Ablagerungsbereiche, Spuren fossiler Prozesse, rezente und aktuelle Prozesse, Hydrographie, Grundwasser und Staunisse.

Bodenkundliche Kartierung 1:25000

Der Kartenmaßstab 1 : 25 000 ist gut geeignet, die bodenkundlichen wie auch sedimentologischen Verhältnisse sowohl übersichtlich als auch in wichtigen Einzelheiten wieder zu geben. Die Bodenkarte 1 : 25 000 bezweckt in erster Linie wie die geologische und geomorphologische Karte, eine Bestandesaufnahme und eröffnet zusammen mit den dazugehörigen Erläuterungen weitgespannte und vielschichtige Möglichkeiten für archäologische Grabungen (Boden- und Sedimentarten, Verteilung im Bodenprofil, Landesplanung, Bodenerhaltung, Erosionsgefährdung, Rekultivierung wie z.B. Tagebau, Lehm- und Kiesgruben, Moore usw., Flurbereinigung, Wasserwirtschaft und Raumordnung, alte und neue Landesplanung und Landschaftspflege).

Hydrologische Karte 1:25000

Jeder geomorphologischen Untersuchung muss eine mathematische Analyse der dynamischen Faktoren wie Verwitterung, Erosion, Denudation usw. vorangehen. Die an der Oberfläche liegenden unterschiedlichen Formen resultieren aber aus dem Wasser einerseits und der Bewegung des Materials, der Schwerkraft folgend, andererseits. Als Basis eines hydrographischen Systems kann das Einzugsgebiet angenommen werden. Dieses Gebiet bildet ein offenes System, in dem es zu einem Kreislauf zwischen Material und Energie kommt. Dieses System ist nicht beständig, sondern steten dynamischen Veränderungen unterworfen. Dies betrifft die verschiedenen Numenerungsformen und die morphometrischen Parameter des hydrographischen Netzes, ebenso die Gesetze der hydrographischen Synthese, die Symmetrie des Einzugsgebietes (hydrographische Dichte und Häufigkeit), wie auch die Beziehungen zwischen den klimatischen Elementen, bzw. Niederschlag und Lufttemperatur und der Gesteine (Lithologie des Untersuchungsgebietes).

Standorteinheitskarte 1:25000

Sie bedeutet eine landschaftsökologische Differenzierung der seinerzeitigen und gegenwärtigen Standorte. So werden einerseits die **Haupteinheiten (Ökotope)** und die **Untereinheiten (Mega-meso-mikrochora)** für eine aktuelle Ökopenkarte abgegrenzt, andererseits kann auch auf das Paläorelief geschlossen werden.

Laboruntersuchungen

Physikalische Boden- oder Sedimentuntersuchungen

Für gewisse physikalische Untersuchungen (z.B. Korngrösse, Gesamtdichte, Wasserkapazität und Durchlässigkeit) erfolgt die Entnahme von ungestörten und gestörten Proben. Die Aufnahme von Boden- oder Sedimentproben bedarf grosser Geschicklichkeit, Wissen und Erfahrung. Die Kunst, Proben zu nehmen und zu sammeln hat viele Studien erfordert und es wurden auch schon grundlegende Veröffentlichungen herausgegeben. Es erscheint nicht unnötig, perfekte Labortests auf unsachgemäss entnommene Proben anzuwenden.

Gestörte und ungestörte Boden- und Sedimentproben

Ungestörte Boden- oder Sedimentproben gehören generell zu einer von zwei Arten :

- aus einem Schacht gegrabene Proben
- mit Hilfe einer bestimmten Art von Sammlern (Stechzylinder) gewonnene Proben.

Die Konstruktion dieser Geräte soll ausser der Erhaltung der natürlichen Lagerungsverhältnisse vor allem ein bestimmtes Volumen der Proben gewährleisten (meist 100 oder 250 ml) und für eine gewisse Zeit die Verdunstung der zu messenden Bodenfeuchte verhindern.

Bodengese und -entwicklung (Bodentypen)

In einem senkrechten Bodenquerschnitt, im sogenannten Bodenprofil, kann man die aufeinanderfolgenden verschiedenen Horizonte erkennen, die unterschiedlichen Horizonte, sowie die Aufeinanderfolge kann typisch sein für die Auswirkung bestimmter Faktorenkombination, man spricht daher von "Bodentypen". Böden und Sedimente, wie auch die verschiedenen Bodentypen auseinander zu halten ist oftmals notwendig, bei jeder archäologischen Ausgrabung, deren Interpretation viele Probleme des Fundortes lösen kann.

Korngrößenverteilung (Boden-Sedimentart Bestimmung)

Jeder Boden wie auch die Sedimente bestehen aus Mineralteilchen verschiedener Grösse. Das Verhältnis des Anteils an der Korngrösseklasse ergibt die Boden-Sedimentarten. Man kann dabei über Sand-Schluff- und Tonböden sprechen, wie auch vom Übergangsboden, oder von Sedimentarten, wie z.B. sandiger Schluff, toniger Sand, sandiger Lehm, lehmiger Sand usw.. Die Korngrößenverteilung kann für jeden Bodenhorizont oder jedes Sediment typisch sein, wobei man bei Grabungen nicht alles mit freiem Auge erkennen und festlegen kann.

Struktur und Bodengefüge

Unter Bodenstruktur oder Bodengefüge ist die Art der räumlichen Anordnung der festen Bodenteilchen zu verstehen. Die einzelnen Boden- oder Sedimentteilchen können in loser oder miteinander verklebter Form vorkommen. Im ersten Fall spricht man von Einzelkorngefüge, d.h. die Teilchen liegen lose nebeneinander, und zwar umso dichter, je kleiner sie sind. Im zweiten Fall ist zu unterscheiden zwischen Hüllengefüge (d.h. die Teilchen sind miteinander durch Gele verklebt) und Aggregatgefüge (d.h. die Teilchen sind zu grösseren Einheiten verschiedener Form verbunden). Meist liegt ein Aggregatgefüge vor, wobei man zwischen blockiger, körniger, plattiger und

krümeliger Struktur unterscheiden kann. Blockiges oder körniges Gefüge findet man häufig in Tonböden. Die körnigen Aggregate sind etwas lockerer angeordnet als die blockigen Aggregate, die weniger Hohlräume freilassen. Plattiges Gefüge ist oft in Pflugsohlen als Folge einer mechanischen Verdichtung zu finden. Die Bodenstruktur oder das Boden- und Sedimentgefüge muss bei Ausgrabungen mit der Korngrößenverteilung kombiniert werden und mit Hilfe von ungestörten (Stechzylinder-) Proben zu einer Volumendiagrammdarstellung gebracht werden (siehe Wassergehalt der ungestörten Proben).

Farbbestimmung

Die Bodenfarbe war lange Zeit die bestbekannte Eigenschaft eines Bodens oder Sediments, deshalb wurden oft Boden und Sedimentart nach ihrer Farbe benannt. Obwohl wir der Farbe des Bodens nur wenig Bedeutung beimessen, weil es mehr Erfahrung über organische Substanzen im Boden, über physikalische und chemische Analysen und über die Zusammensetzung von primären und sekundären Mineralien im Boden gibt, so ist doch die Farbbestimmung ein wichtiges Charakteristikum für die Klassifikation und Zusammensetzung des Bodens. Dies ist ganz besonders wesentlich, wenn das Bodenprofil im Gelände studiert wird, oder wenn adäquate physikalische und chemische Analysen nicht anwendbar sind.

Die Beschreibung der Farbe bei Boden- und Sedimentuntersuchungen war immer der subjektiven Meinung einzelner Personen überlassen. Deshalb ist es immer der Wunsch von Bodenexperten, dass jeder Untersucher ein Standard-Set von Farbkarten mit sich führt, um eine genaue Vergleichsmöglichkeit der Böden und Sedimente mit den Karten zu haben.

Seit 1957 findet man auf dem Markt, mit vielen Verbesserungen an Einband, Hülle, Papier und Farbqualität die von A. MUNSELL zu einem System entwickelten "Standard Soil Color Charts". Dieses System basiert auf einer Beschreibungsmethode von Farben mit drei Attributen.

1. Grundfarbe, die das vorwiegende Spektrum wie rot, gelb, blau darstellt
2. Die Wertigkeit, die die relative Helligkeit einer Farbe zeigt
3. "Chroma", das die Reinheit oder Stärke der Spektralfarbe zeigt

Bei der schriftlichen Bestimmung einer Farbe schreibt man zuerst die Grundfarbe, dann die Wertigkeit und dann die Farbnuance, getrennt durch einen Strich /. Ein Beispiel : 7.5YR6/4 bedeutet : 7.5 Grundfarbe, 6/ Wertigkeit und /4 Nuance. Die Farbbestimmung bei archäologischen Grabungen muss den Vermerk "frisch" (Gelände Feuchtigkeit) oder "lutro" (lufttrockene Proben) oder "atro" (bei 105 Grad Celsius über Nacht getrocknete Proben) tragen. Die Standardvergleichbare Farbbestimmung im Gelände ist bei 100% Boden- oder Sedimentfeuchtigkeit, d.h. Flüssigkeitsgrenze oder Feuchtigkeit bei maximaler Wasserkapazität.

Organische Substanz

In jedem Boden findet man in der oberflächennahen Zone organische Substanz, und zwar sowohl mehr oder minder zersetzte Pflanzenreste als auch Humus (Ah-Horizont). Die in einem Boden enthaltene Humusmenge hängt vor allem vom Klima, aber auch weitgehend von der Vegetation und der Bewirtschaftungsart ab. Je nach den Bedingungen, unter denen Humus entsteht, können sich sehr unterschiedliche Humusformen entwickeln (z.B. Rohhumus, Moder, Mull, Anmoorhumus, Torf), deren Eigenschaften und deren Wert sehr stark variiert. In der Praxis wird oft der Begriff "wilder Humus" verwendet, in der Regel liegt aber bei dieser Bezeichnung die Humusform Mull vor. Bei archäologischen Grabungen muss unbedingt die Grenze zwischen Ah und darunter liegendem B- oder C-Horizont scharf gezeichnet werden. Das bezieht sich einerseits auf die heutigen Bodenbildungsverhältnisse, wie auch auf Paläoböden, bzw. Paläorelief.

Wassergehalt bzw. Boden- und Sedimentfeuchtigkeit und ihre

Bedeutung für archäologische Grabungen

Auf ungestörte Boden- Sedimentproben (Entnahme mittels Stechzylinder) können folgende Parameter angewendet werden:

- Rohdichte (R) auch Gesamtdichte, ist das Verhältnis von Bodenmasse zum Gesamtvolumen (einschliesslich der mit Wasser und Luft gefüllten Hohlräume) in g/cm³. In der Feuchtrohdichte (Rf) ist das bei der Probenentnahme vorhandene Bodenwasser mit enthalten, zur Bestimmung der Trockenrohddichte (Rt) wird es jedoch durch Trocknung bei 105 Grad Celsius entfernt. Durch die Trocknung erfassbarer Wassergehalt des ungestörten Bodens kann in Masseprozenten (%W) oder in Volumenprozenten (%WV) ausgedrückt werden.
- Reindichte (Rs) ist das Verhältnis von Trockenmasse zum Substanzvolumen (ohne Hohlräume) in g/cm³.
- Substanzvolumen (SV) ist der feste Anteil des Bodenkörpers und kann in Prozenten aus der Trockenrohddichte (Rt) und Reindichte (Rs) errechnet werden: %SV = Rt / Rs.
- Porenvolumen (PV) ist der prozentuelle Anteil der mit Wasser und Luft gefüllten Hohlräume des Bodens und kann aus der Differenz zum Gesamtvolumen (GV=100) errechnet werden: %PV = 100 - SV.
- Luftgehalt (LV). Im Porenvolumen sind Bodenwasser und Bodenluft enthalten, so dass der Luftgehalt wiederum als Differenz berechnet werden kann: %LV = PV - WV.
- Volumendiagramm: es zeigt uns die vertikale Verteilung in Prozenten des Substanzvolumens (%SV), Luftgehaltes (%LV) und Wassergehaltes (%WV) im gesamten Untersuchungsprofil. Durch die Verteilung dieser Elemente kann man auf die Struktur des Profiles schliessen, ob z.B. langsam sedimentiert oder aufgeschüttet wurde (anthropogen). Dies war z.B. sehr oft der Fall bei Kreisgrabenanlagen des Neolithikums.
- Maximale Wasserkapazität (Wk max) : ist die Wassermenge, die ein Boden oder Sediment im Stechzylinder bis zur Sättigung aufnehmen und gegen die Schwerkraft halten kann (maximales Haftwasser). Diese Speichermöglichkeit des Bodens ist natürlich sehr eng mit seiner Struktur und Korngrößenverteilung verbunden und kann wertvolle Ergebnisse für archäologische Grabungen bringen.
- Durchlässigkeit (Kf-Wert) ist die Wassermenge, die in filterartigen Stoffen bei einem Gefälle von 1 l/sec durch einen Bodenquerschnitt von F = 1 cm² fliesst. Sie kann aufgrund dieser Definition in ml/sec oder cm/sec dimensioniert werden und ist wie auch die Wk max von der Struktur und Korngrößenverteilung abhängig.

Chemische Boden- und Sedimentuntersuchungen

- Organische Substanzbestimmung (Org S)

Darunter versteht man den Glühverlust der Trockenmasse in Prozenten des Ausgangsmaterials (je nach Bedarf frisch, lutr oder atro) :

$$\% \text{ Org S (atro)} = \frac{\text{Trockenmasse Asche}}{\text{Trockenmasse}} \times 100$$

$$\% \text{ Org S (lutro)} = \frac{\text{Trockenmasse Asche}}{\text{lufttrockene Feinerde}} \times 100$$

Die Bestimmung der Org S kann als Mass für den Gesamthumusgehalt des Bodens angesehen werden, und bei archäologischen Grabungen für die Abgrenzung des heutigen und des Paläorelief-Humushorizontes (Ah).

- Calciumkarbonat (CaCO₃) - Bestimmung

Von den mineralischen Boden oder Sedimentbestandteilen kommt in chemischer Hinsicht dem Kalk eine besondere Bedeutung zu. Man findet häufig durch die Löslichkeit von CO₂ im Bodenwasser wie auch im Ausgangsmaterial ursprünglich vorhandene Karbonate, doch im Unterboden und unter gewissen Umständen sogar im A-Horizont diese Verbindungen, und zwar überwiegend CaCO₃ und seltener MgCO₃.

Zweckmässigerweise wird für die CaCO₃-Bestimmung eine modifizierte SCHEIBLER-Apparatur verwendet (Verginis 1986). Die Verteilung von CaCO₃-Gehalt in

einem Boden- oder Sedimentprofil in Verbindung mit der Korngrößenverteilung und dem Gefüge, kann wertvolle Ergebnisse für primäre und sekundäre Sedimentationsprozesse, wie auch über anthropogene Eingriffe bringen.

- Durch qualitative und quantitative Analysen kann man in speziellen Fällen gewisse Pflanzennährstoffe im Boden bestimmen (Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium usw.). Für spezielle sedimentologische Untersuchungen ist die Verteilung im Profil von Oxiden des Si, Al, Fe, Ti und Mg von grosser Bedeutung. Man muss unbedingt die Struktur und Textur des Profiles in Verbindung mit der Verteilung der Mineralteilchen bringen, ist die Bestimmung der Tonminerale, Zweischichtminerale (Kaolinite, Halloysite), der Dreischichtminerale (Illite, Vermiculite, Montmorillonite) und der Vierschichtminerale (Chlorite) besonders in der Anwendung bei archäologischen Grabungen von grosser Bedeutung, vor allem wenn es sich um tonige oder lehmige Schichten in Auegebieten handelt.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der magnetischen Prospektion von Strügen, Hornsburg und Rosenberg zeigen die hervorragende Eignung dieser Methode für die Planlegung von Kreisgrabenanlagen. Sie ermöglicht die Erfassung der Struktur der Anlage bis hinunter zu Palisadengrübchen. Die hohe Messgeschwindigkeit ermöglicht auch eine Erfassung der umliegenden Flächen, um auch mögliche zugehörige Siedlungsreste zu erfassen. Eine Erfassung der gesamten Denkmalsgruppe mittels magnetischer Prospektion wäre in wenigen Jahren durchführbar und vor weiteren Grabungen anzustreben. Diese gesamte Erfassung würde auch im methodischen Bereich durch vergleichbare Anomalieformen Grundlagen für eine genauere Interpretationen liefern.

Durch die Geländeaufnahme und die darauffolgende Laboruntersuchung besteht die Möglichkeit, über Erosions und Sedimentationsprozesse eines Grabungsprofils Wesentliches zu erfahren. Dies gilt auch für Paläoböden und paläoklimatische Verhältnisse eines Untersuchungsgebietes (Standorteinheiten). Kombiniert mit der magnetischen Prospektion werden erste Überprüfungen der getätigten Interpretationen, als auch eine weitere Erforschung der magnetischen Eigenheiten der Grabenverfüllungen ermöglicht. Man darf dabei nicht vergessen, dass in ur- und frühgeschichtlichen Zeiten die Erdoberfläche nicht stabil geblieben ist und durch die beschriebenen erdwissenschaftlichen Faktoren verändert wurden. Die kulturtragenden Schichten liegen immer innerhalb dieser Veränderungen und erfordern ein besonders sorgfältiges Studium.

Verbunden mit begleitenden gezielten Grabungen, Sedimentanalysen und Suszeptibilitätsmessungen könnten die Kreisgrabenanlagen sehr weitreichend durch erweiterte Interpretationen dokumentiert und beurteilt werden. Dies ist umso dringlicher, da auf kurz oder lang eine grosse Anzahl der archäologischen Quellen durch rasant fortschreitende Erosion und den immens gestiegenen Landverbrauch der archäologischen Erforschung entzogen werden.

Literatur

AITKEN M.J., *Physics and Archaeology*. Oxford 1974.

BECKER HELMUT, Aufbau einer Anlage zur digitalen Verarbeitung von archäologischen Luftbildern und Prospektionsmessungen. *Das Archäologische Jahr in Bayern*, 1983, 201-203.

BECKER HELMUT, Verarbeitung magnetischer Prospektionsmessungen als digitales Bild. *Das Archäologische Jahr in Bayern*, 1984, 184-186.

BECKER HELMUT u.a., Prospektion des mittelneolithischen Grabenrondells bei Viecht. *Das Archäologische Jahr in Bayern* 1985, 38-40.

BECKER HELMUT, Das mittelneolithische Grabenrondell von Schmiedorf. *Das Archäologische Jahr in Bayern* 1986, 37-40.

BECKER HELMUT, Magnetische Prospektion der Grabenwerke von Kothingreichendorf und Altheim. *Das Archäologische Jahr in Bayern* 1987, 39-42.

GEOFYSICS, Special Issue: Geophysics in Archaeology, Vol. 51, No. 3, March 1986.

LE BORGNE E., Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel. *Annales de Géophysique*, 11, 1955, 399-419.

LE BORGNE E., Les propriétés magnétiques du sol. Application à la prospection des sites archéologiques. *Archaeo Physika* 1, 1965, p. 1-20.

MULLINS CHRISTOPHER E., The magnetic properties of the soil and their application to the archaeological prospection. *Archaeo Physika* 5, 1974, 134-348. 1), 1965, 21-92.

REUTER G., *Gelände- und Laborpraktikum der Bodenkunde: Pflanzenproduktion*, Berlin 1976.

SCOLLAR I., WEIDNER B., SEGETH KAREL, Display of archaeological magnetic data. *Geophysics*, Vol. 51, No. 3, 1986, 623-633.

TABBAGH A., BOL'SSET G., BECKER H., A comparison between magnetic and electromagnetic prospection of a neolithic ring ditch in Bavaria. *Archaeometry* 30, 1, 1988, 132-144.

TITE M.p., MULLINS C.E., Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites. *Archaeometry* 13, part 2, 1971, 209-220.

TRNKA GERHARD, VERGINIS SPYRIDON, Vorläufige Ausgrabungsergebnisse zur Kreisgrabenanlage von Karnegg (NÖ). *Sedimentologische Untersuchungsmethoden und deren Anwendung und Auswertung am Beispiel zweier Profile bei Karnegg (NÖ)*, *Archaeologica Austriaca* 70, 87-112.

TRNKA GERHARD, Studien zu mittelneolithischen Kreisgrabenanlagen, Habilitationsschrift der Universität Wien 1988 (erscheint in: *österreichische Akademie der Wissenschaften, Phil.-Histor. Klasse*).

VERGINIS SPYRIDON, TRNKA GERHARD, Sedimentologische Untersuchungen an einer neolithischen Kreisgrabenanlage in Karnegg (NÖ): In *1e Geographenkongress in Athen* (im Druck).

WEYMOUTH JOHN W., *Geophysical Methods of Archaeological Site Surveying*. *Advances in Archaeological Method and Theory*, Vol. 9, 1986, 311-395.

Literatur