

Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte	Band	Seite	Hildesheim 1987
NNU	56	313—325	Verlag August Lax

Gleichstromgeoelektrische Gradientenmessungen als eine Prospektionsmethode in der Archäologie

Von
Rüdiger Schulz

Mit 11 Abbildungen

Zusammenfassung

Der spezifische Widerstand von archäologischen Objekten, z. B. Gruben, Gräben oder Steinmauern, unterscheidet sich häufig wesentlich vom spezifischen Widerstand des umgebenden Materials, so daß solche Strukturen durch gleichstromgeoelektrische Meßverfahren lokalisiert werden können.

Die am besten geeignete Methode ist das Kartieren des Potentialgradienten eines homogenen elektrischen Feldes, das von Linienelektroden erzeugt wird. Die gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstände werden durch zwei- und dreidimensionale Modelle interpretiert. Allerdings können unterschiedliche Strukturen die gleiche Anomalie hervorrufen. Die maximale Erkundungstiefe entspricht etwa der doppelten Breite der Struktur.

Der Einsatz der Methode wird an einigen Meßbeispielen aus Niedersachsen demonstriert.

Einleitung

Die physikalische Eigenschaft des Objektes, beziehungsweise der Kontrast zum umgebenden Material bestimmt die Methode, die am besten bei der geophysikalischen Prospektion in der Archäologie geeignet ist; z. B. (WYNN 1986):

Wärmeleitfähigkeit	mit Geothermik
magnetische Suszeptibilität	mit Magnetik oder Elektromagnetik
Dielektrizität	mit Erdradar
elektrische Leitfähigkeit	mit Elektromagnetik oder Geoelektrik
spezifischer Widerstand	mit Geoelektrik

Diese Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit geoelektrischen, genauer gleichstromgeoelektrischen Verfahren. Der Vorteil gegenüber den elektromagnetischen (Wechselstrom-) Verfahren besteht darin, daß man sowohl gut leitende als auch schlecht leitende Strukturen erkunden kann.

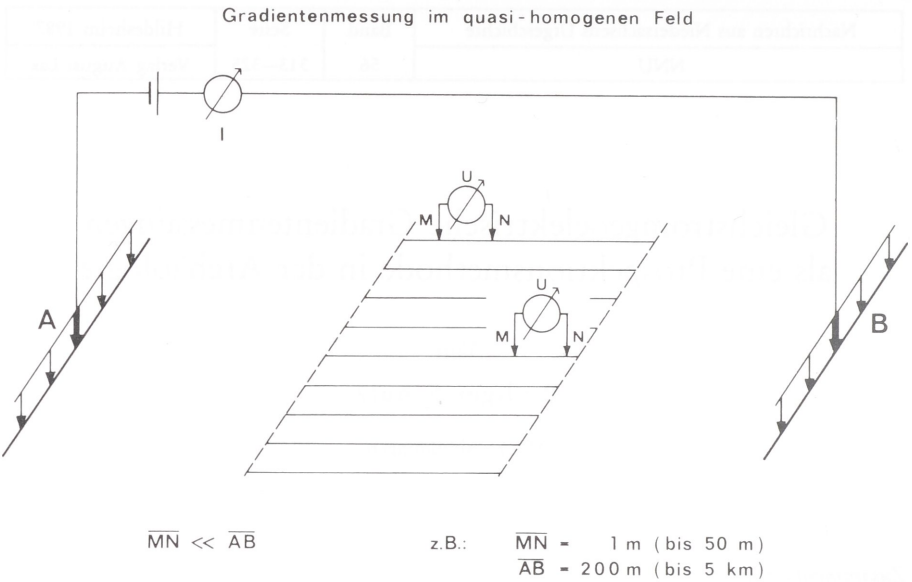


Abb. 1

Meßanordnung für eine geoelektrische Gradientenanordnung. Gleichstrom wird über die Linienelektroden A und B der Erde zugeführt, der Potentialgradient im mittleren Teil mit den Sonden M und N gemessen.

Der spezifische elektrische Widerstand für die obersten Erdschichten variiert über mehrere Zehnerpotenzen, von 1 Ohm.m bis 10000 Ohm.m; er wird von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, insbesondere von der Körnung, Porosität und Durchfeuchtung des Bodens. Die meisten archäologischen Objekte haben gegenüber dem umgebenden Material einen veränderten spezifischen Widerstand (BECKER 1978): Gruben und Gräben sind häufig mit tonigen, humösen und feuchten Böden verfüllt und haben damit einen erniedrigten spezifischen Widerstand; hohe Werte können dagegen auf Steinstrukturen hindeuten.

In der Angewandten Geophysik sollen normalerweise große geologische Strukturen in größeren Tiefen erkundet werden. Dagegen werden in der Archäologie meist viele kleine Überreste in Oberflächennähe in einem relativ großen Gebiet gesucht. In der Geoelektrik setzt man dafür Kartierungsmethoden ein, meistens Wenner- oder Dipol-Dipol-Anordnungen; speziell in Frankreich (HESSE et al. 1986) wird in der archäologischen Prospektion eine quadratische Anordnung verwendet (siehe auch *Abb. 2*). Die theoretisch größte Eindringtiefe hat allerdings die Gradientenanordnung; deshalb wird sie von uns bevorzugt.

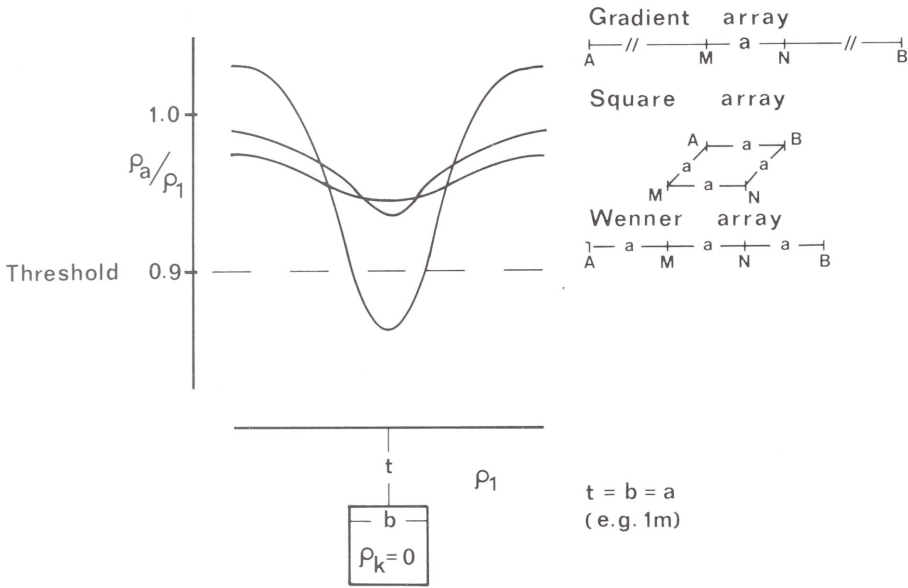


Abb. 2

Theoretische Kurve des scheinbaren spezifischen Widerstandes für verschiedene Elektroden-Konfigurationen über einer archäologischen Siedlungsspur, modelliert durch einen sehr gut leitenden Würfel.

Die Methode

Bei der Gradientenanordnung werden die Stromelektroden A und B fest auf einem Profil angebracht, meist verwendet man Linienelektroden (*Abb. 1*). Sie erzeugen im mittleren Teil ein fast homogenes elektrisches Feld. Das Potential wird in diesem Teil durch die eng benachbarten Sonden M und N (meist 1 m Sondenabstand) gemessen. Meßgröße ist der scheinbare spezifische Widerstand ρ_a : die gemessene Spannung wird durch den eingespeisten Strom geteilt und mit einem Geometriefaktor multipliziert, wobei der Geometriefaktor so definiert ist, daß für einen völlig homogenen Untergrund der scheinbare mit dem tatsächlichen spezifischen Widerstand des Untergrundes übereinstimmt.

Laterale Widerstandsänderungen oder eingelagerte Inhomogenitäten — wie z. B. archäologische Siedlungsspuren — verursachen anomale Werte des scheinbaren spezifischen Widerstandes. Zur näherungsweise Auswertung stehen einfache Modelle zur Verfügung (HUMMEL 1928; SCHULZ 1985).

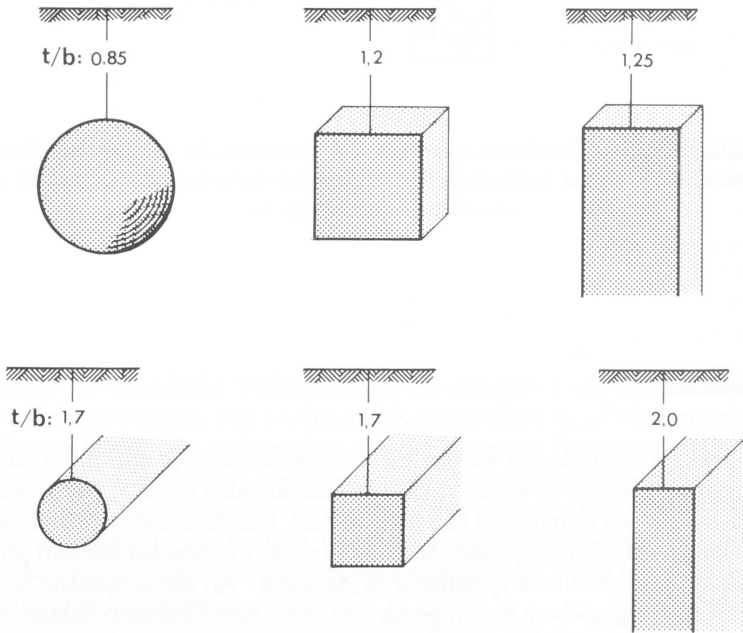
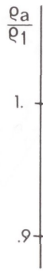


Abb. 3

Äquivalenz und größte Erkundungstiefe bei einer Gradientenanordnung. Dieselbe Anomalie des scheinbaren spezifischen Widerstandes wird durch unterschiedliche Körper erzeugt.

t Tiefe der Körperoberkante
 b maximale Breite des Körpers

In *Abb. 2* werden Modellkurven des scheinbaren spezifischen Widerstandes gezeigt, wie sie von einem lokal begrenzten Körper, z. B. einer verfüllten Grube, verursacht werden können. Sehr vereinfacht wird die Störung durch einen sehr gut leitenden Würfel modelliert, wobei Tiefe und Breite gleich sein sollen, z. B. 1 m. Bei der Gradientenanordnung ergibt sich eine Abweichung von 13 % im scheinbaren spezifischen Widerstand, während bei anderen für die Archäologie verwendeten Anordnungen eine um die Hälfte kleinere Anomalie gemessen würde. Die Gradientenanordnung hat von den geoelektrischen Kartierungsverfahren die beste Auflösung.

Abb. 3 zeigt, daß die Körperform den gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstand kaum beeinflusst. Gegeben ist eine Modellkurve für eine Gradientenanordnung mit einer maximalen Abweichung von 10 %. Diese Kurve kann von unterschiedlichen Körpern erzeugt werden, von denen einige in der Abbildung angegeben sind. Dreidimensionale Störungen können von zweidimensionalen Strukturen durch Messungen auf Parallelprofilen leicht voneinander unterschieden werden. Aber die genaue Körperform, die Tiefenerstreckung und das Einfallen kann man in der Regel nicht erkunden. Ebenso sind eng nebeneinander liegende Körper von einem einzigen großen Körper kaum zu unterscheiden.

Gewöhnlich kann man eine Abweichung von 10% als Nachweisbarkeitsgrenze („Threshold“) ansehen; kleinere Schwankungen des scheinbaren spezifischen Widerstandes können unter schlechten Bedingungen schon durch Meßungenauigkeiten und durch den Erdboden selbst verursacht werden. Somit zeigt *Abb. 3* auch die maximale Aussagetiefe für Widerstandsinhomogenitäten. Sie ist für zweidimensionale Strukturen fast doppelt so groß wie für eng begrenzte dreidimensionale Körper; eine Grube mit einem Durchmesser von 1 m kann bis zu einer Tiefe von 1,2 m nachgewiesen werden, ein Graben mit einer Breite von 1 m bis zu einer Tiefe von 2 m.

Der Widerstandscontrast ist nur bei dreidimensionalen Körpern von entscheidender Bedeutung. Die erzeugte Anomalie ist für schlecht leitende Gebilde, z. B. Steinreste, erheblich kleiner als für gut leitende Körper, z. B. Gruben (*Abb. 4*). Die *Abb. 4* gibt auch den Einfluß der Überdeckung wieder. Bei einer Deckschicht mit einem hohen spezifischen Widerstand verdoppelt sich nahezu die Anomalie, und somit wird auch die Aussagetiefe größer. Der umgekehrte Effekt ist bei einer gut leitenden Überdeckung feststellbar.

Durchführung der Messungen

Bei der Gradientenanordnung werden die Potentialgradienten nur im mittleren Teil der Elektroden-Strecke gemessen (siehe *Abb. 1*). Es muß also ein unbebautes Gebiet zur Verfügung stehen, das mindestens dreimal größer sein muß als das Untersuchungsgebiet.

Die Messungen selber werden mit einem computergestützten System (*Abb. 5*) durchgeführt. Der Strom wird mit einer Stromstärke bis zu 4 Ampere über die Elektroden A und B der Erde zugeführt; nach 2 Sekunden wird er umgepolt. Die Potentialgradienten

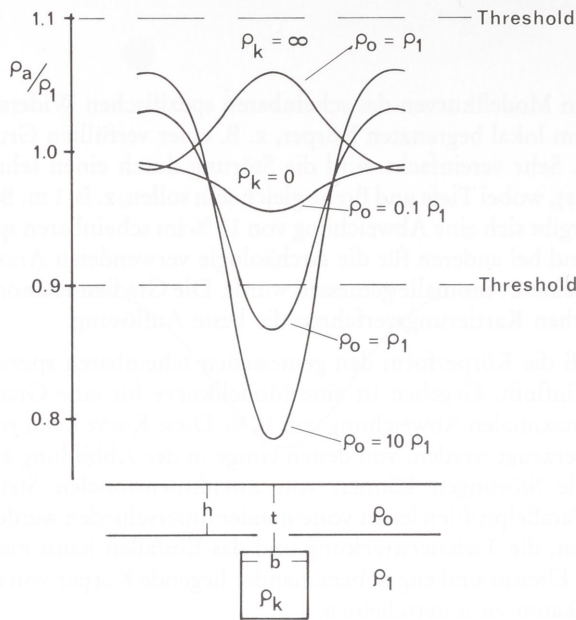


Abb. 4

Scheinbarer spezifischer Widerstand für eine Gradientenanordnung über einem dreidimensionalen Körper (Würfel).

oben: Schlecht leitender Körper im homogenen Untergrund

unten: Gut leitender Körper im geschichteten Untergrund

ρ_o spezifischer Widerstand der Deckschicht

ρ_1 spezifischer Widerstand des umgebenden Materials

ρ_k spezifischer Widerstand des Körpers

t Tiefe der Körperoberkante

b Breite des Körpers (hier $t = b$)

h Deckschichtmächtigkeit (hier $h = 0.75 t$)

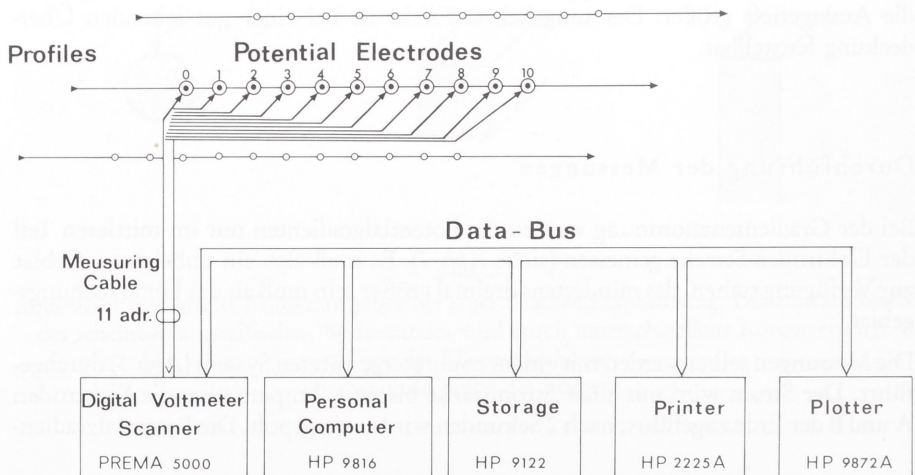


Abb. 5

Blockschaltbild des Meßsystems

ten werden mit Hilfe eines Meßstellenumschalters („Scanner“) und eines digitalen Voltmeters registriert, und zwar 10 Sondenstrecken gleichzeitig. Die gemessenen Werte werden auf einem Bildschirm angezeigt und auf einer Kassette abgespeichert.

Nach diesem Meßvorgang werden die Potentialsonden per Hand versetzt. 200 bis 300 Messungen können so pro Stunde ausgeführt werden; bei einem Punkt- und Profilaßstand von 1 m können pro Tag bis zu 2000 m² vermessen werden.

Die Meßapparatur ist in einem Kleinbus untergebracht. Die Stromelektroden, die aus Stahl bestehen, sind über Kabel mit dem Meßwagen verbunden; ebenso die Potentialsonden. Dies sind Kupferstäbe in einem Keramiktopf, der mit gesättigter CuSO₄-Lösung gefüllt ist.

Feldmessungen

Eine erste Testmessung (*Abb 6*) wurde in Düna/Osterode (MÖLLER 1986) durchgeführt. Sie erstreckte sich nur über einige Meter und fand vor dem Beginn der Ausgrabung statt. Eine inzwischen ausgegrabene Steinmauer ist die Ursache für die maximalen scheinbaren spezifischen Widerstände bei 10 m, die minimalen Werte bei 18 m deuten auf den Graben hin. Die Meßwerte haben allerdings eine starke Schwankungsbreite. Diese Testmessung zeigte aber, daß archäologische Strukturen mit Hilfe der Gradientenanordnung lokalisiert werden können.

Die Messungen für das gesamte Meßgebiet von Düna und ihre Ergebnisse sind ausführlich an anderer Stelle (SCHULZ und MUNDY 1986) dargestellt. Es konnten Hinweise auf weitere Siedlungsspuren gegeben und das historische Bachbett lokalisiert werden. Zusammen mit anderen Prospektionsmethoden konnte das Siedlungsgebiet in Umrissen kartiert werden (KLAPPAUF 1986).

Weitere Messungen wurden in Wassel (Sehnde, Ldkr. Hannover) durchgeführt. Hier werden Reste eines Ringwalles von ca. 60 m Durchmesser vermutet (HEINE 1981). Das Untersuchungsgebiet war 60 m x 100 m groß. Die Meßergebnisse sind in *Abb 7* dargestellt.

Man sieht, daß die Werte nach Südosten, d. h. nach rechts, abnehmen, was auf den Einfluß des tieferen Untergrundes zurückzuführen ist. Dieser Trend wird bei der Darstellung in *Abb 8* mit Hilfe eines einfachen Filterverfahrens abgezogen. Es werden nur die Maximalwerte in Form einer Punktdichteschrift dargestellt. Auffällig sind die durchgehenden Bereiche ohne Maximalwerte. Als Ursache für diese Struktur kann ein Graben, der dem Ringwall vorgelagert ist, vermutet werden.

Im unteren Teil der Abbildung wird dieser Bereich nur noch undeutlich abgegrenzt: Die Struktur verläuft parallel zum eingespeisten Strom, deshalb liefert die Gradientenmessung keine guten Ergebnisse. Nach Südosten hin (rechts) wird die Begrenzung wieder klarer. Interessanterweise gaben in diesem Bereich Luftbilddaufnahmen recht gute Hinweise auf die Struktur, während sie im nordwestlichen Teil kaum Aussagen zuließen.

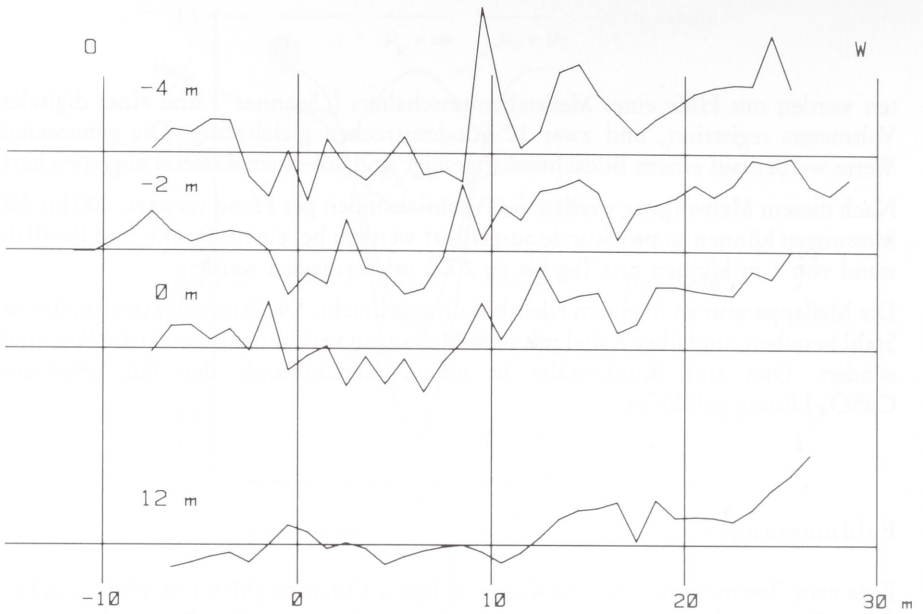


Abb. 6

Testmessungen mit der Gradientenanordnung in Düna/Osterode. Die hohen scheinbaren spezifischen Widerstände bei 10 m kennzeichnen den Verlauf einer Mauer, die Teil eines Steingebäudes ist; bei 18 m deutet sich der Graben durch niedrige Werte an.

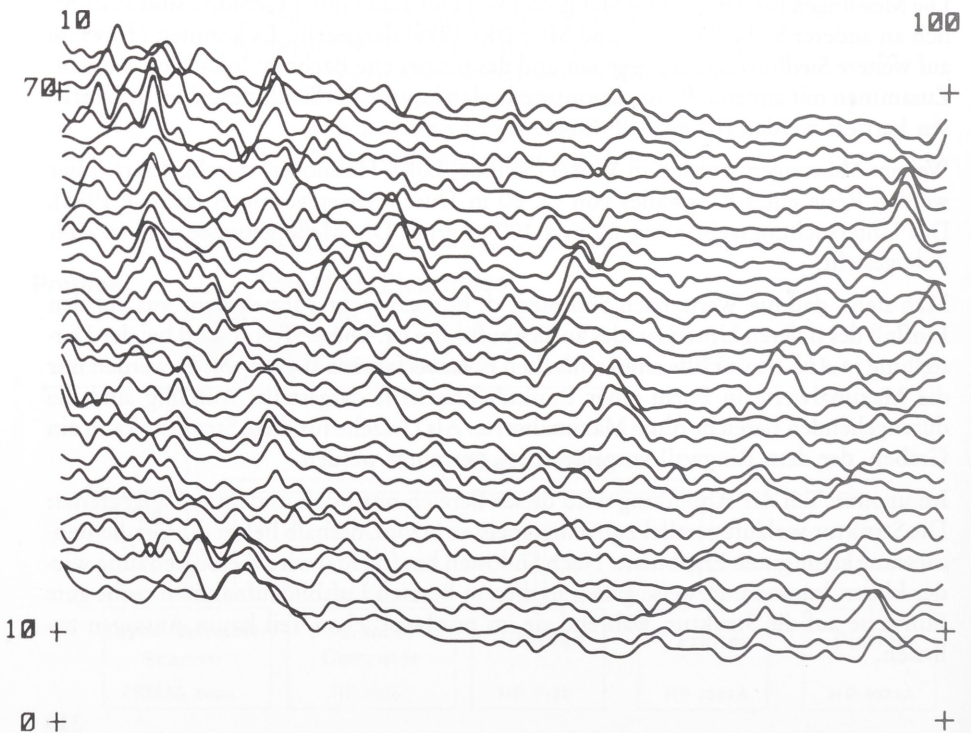


Abb. 7

Gradientenmessung in Wassel (Sehnde, Ldkr. Hannover).
Meßpunktabstand 1 m, Profilabstand 2 m.

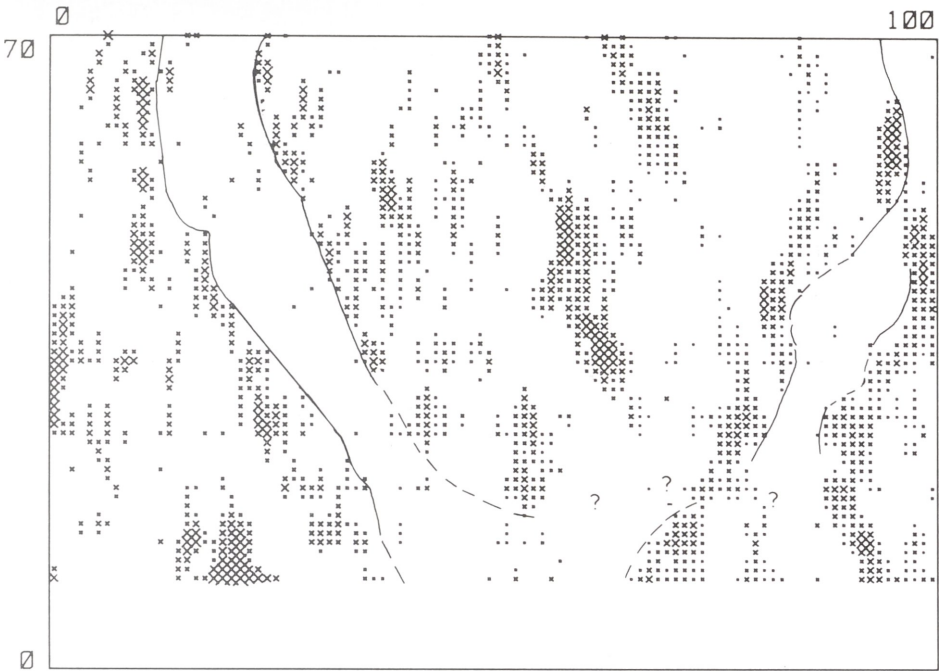


Abb. 8

Punktdichteschicht für maximale Werte der Gradientenmessung
in Wassel (Sehnde, Ldkr. Hannover).
Eingezeichnet der vermutete Verlauf eines Grabens vor einem Ringwall.

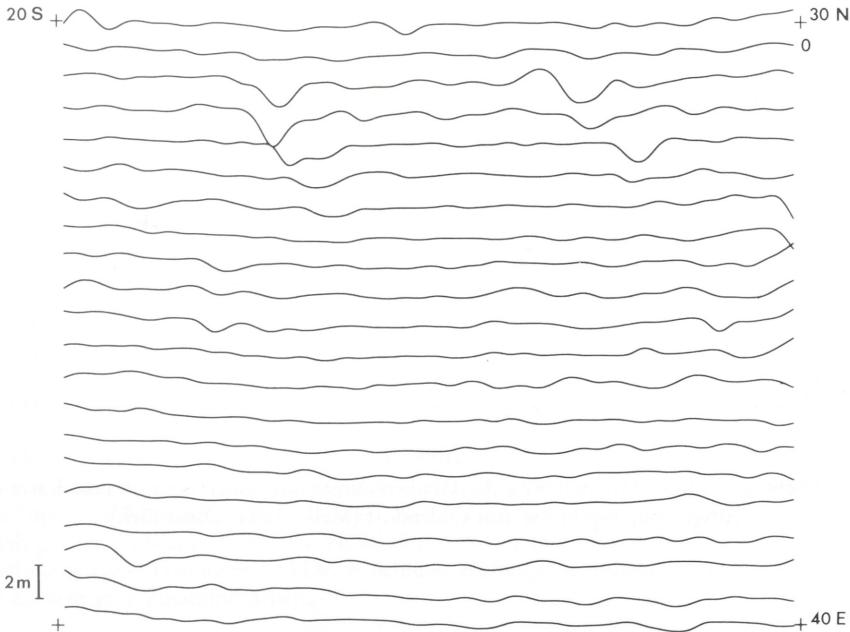


Abb. 9

Gradientenmessung in Oldendorf (Melle, Ldkr. Osnabrück).
Meßpunktabstand 1 m, Profilabstand 2 m.

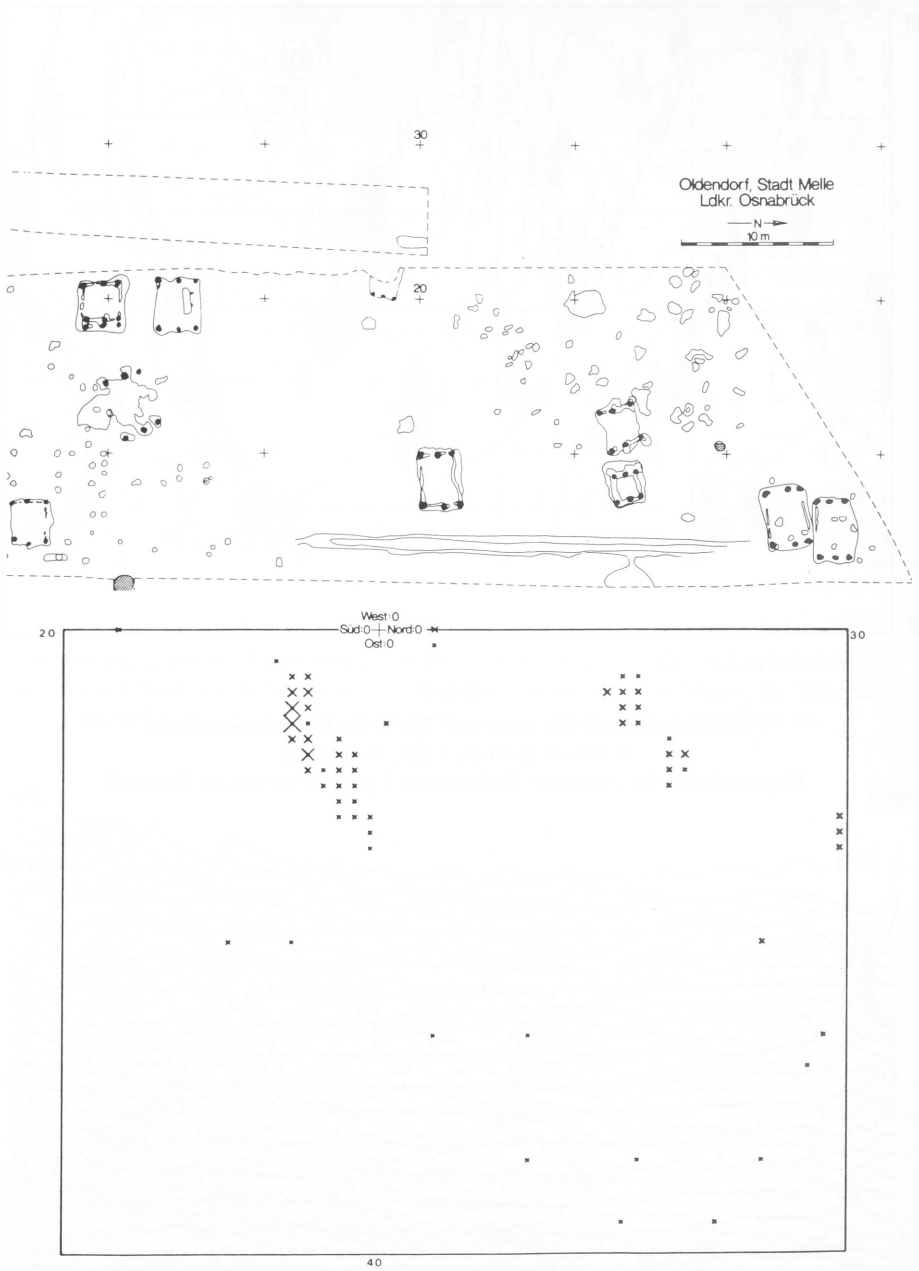


Abb. 10

Punktdichteschicht der Minimalwerte der Gradientenmessung, eingetragen in eine Karte der Ausgrabungsergebnisse von Oldendorf (Melle, Ldkr. Osnabrück).

Inwieweit die erhöhten spezifischen Widerstände im Zentrum des Untersuchungsgebietes auf eine ehemalige Bebauung schließen lassen, bleibt ungeklärt.

Luftbildaufnahmen sind eine häufig verwendete Prospektionsmethode in der Archäologie. Doch dürfte es Böden geben, bei denen diese Methode kaum Ergebnisse zeigen wird. Dazu zählt die sogenannte Plaggenesche, die man als Auftragsboden besonders im Landkreis Osnabrück relativ häufig antrifft (ECKELMANN 1980). Wegen der „konservierenden“ Wirkung werden unter diesem Boden guterhaltene frühgeschichtliche Siedlungsspuren vermutet. Seine Mächtigkeit kann bis zu 2 m betragen.

Unter einer solchen Eschüberdeckung wurden im Bereich eines Sandabbaugebietes südwestlich von Oldendorf bei Melle (Ldkr. Osnabrück) 1980 bis 1982 Spuren von mehreren Grubenhäusern freigelegt (SCHLÜTER 1983). Direkt im östlichen Anschluß an das Ausgrabungsgebiet wurden auf einem Areal von 40 m x 50 m Gradientenmessungen durchgeführt (Abb. 9). Die Meßwerte zeigen eine sehr geringe Schwankungsbreite. Auffallend sind nur 2 Bereiche mit verringertem spezifischen Widerstand, die besonders deutlich in der Punktdichteschrift für Minimalwerte (Abb. 10) herauskommen. Ihre Ausdehnung beträgt 2 bis 3 m x 3 bis 4 m. Mit einer einfachen Auswertung der Meßwerte (SCHULZ 1985) läßt sich die Tiefe der Störung mit 0,8 m bis 1,1 m angeben. Die Ausdehnung der Anomalie entspricht in etwa der Größe der Grubenhäuser, so daß man vermuten darf, daß mit der Gradientenmessung die Fortsetzung der Siedlung und ihre östliche Begrenzung kartiert wurde.

Goelektrische Sondiermessungen (Abb. 11) zeigen eine sehr einheitliche Überdeckung. Die oberste Schichtgrenze liegt bei 0,4 m und entspricht dem Pflughorizont. Der gesamte Eschboden dürfte rund doppelt so mächtig sein.

Ausblick

Mit dieser Arbeit sollte gezeigt werden, daß die goelektrische Gradientenmessung eine Prospektionsmethode ist, die sich auch für den Einsatz in der Archäologie eignet. Wahrscheinlich kann sie nur als zusätzliche Methode neben anderen geophysikalischen, geochemischen und archäologischen Prospektionsmethoden eingesetzt werden. Aber sie hilft dem Archäologen, Bodendenkmäler zu schützen oder Ausgrabungen gezielt anzusetzen.

Danksagung

Der Autor ist Prof. Dr. E. Mundry (†), NLFb Hannover, zu großem Dank verpflichtet; wir werden sein Engagement vermissen. Das Meßwerterfassungssystem wurde mit großer Sorgfalt von den Dipl.-Ings. W. Südekum und C. Czora, NLFb Hannover, weiterentwickelt. Der besondere Dank gilt Dr. L. Klappauf und Dr. H.W. Heine, Nds. Landesverwaltungsamt — Institut für Denkmalpflege — Hannover, und Dr. W. Schlüter, Kulturgeschichtliches Museum Osnabrück, für die sehr gute Zusammenarbeit.

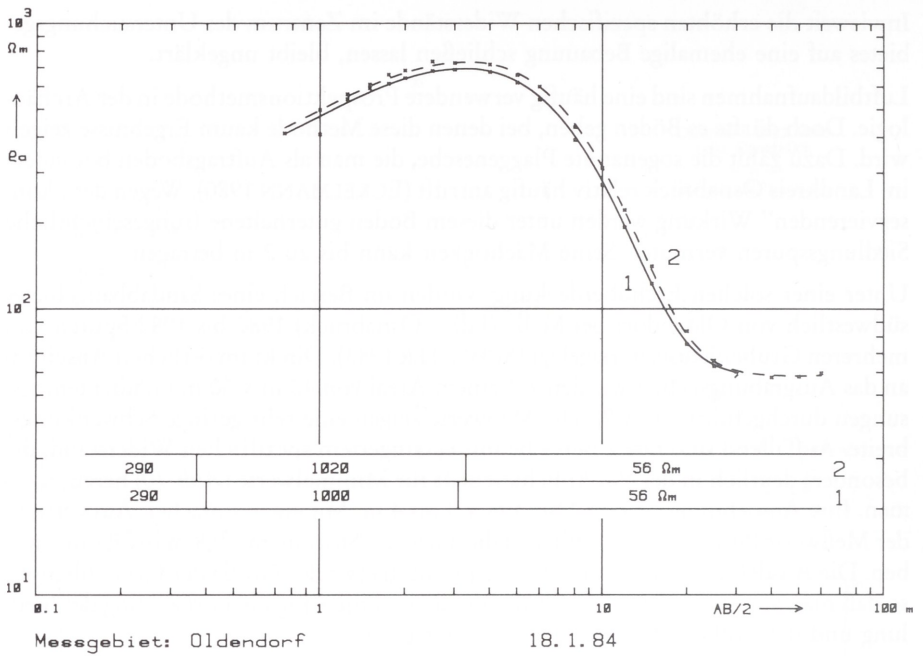


Abb. 11

Schlumberger-Sondierungsmessungen in Oldendorf (Melle, Ldkr. Osnabrück) mit Interpretationsbalken für einen horizontalgeschichteten Untergrund (Tiefe und wahre spezifische Widerstände).

LITERATUR:

- M. BECKER, *Geophysikalische Prospektionsmethoden in der Archäologie*. — B. HROUDA (Hrsg.): *Methoden der Archäologie*. München 1978, 48–62.
- W. ECKELMANN, *Plaggenesche aus Sanden, Schluffen und Lehmen sowie Oberflächenveränderungen als Folge der Plaggenwirtschaft in den Landschaften des Landkreises Osnabrück*. — *Geol. Jb., F 10*. Hannover 1980, 3–93.
- H.-W. HEINE, *Der Ringwall bei Wassel*. — *Führer zu vor- und frühgeschichtlichen Denkmälern*, 49. Mainz 1981, 58–59.
- A. HESSE, A. JOLIVET und A. TABBAGH, *New prospects in shallow depth electrical surveying for archaeological and pedological applications*. — *Geophysics*, 51, 1986, 585–594.
- J. N. HUMMEL, *Über die Tiefenwirkung bei geoelektrischen Potentiallinienmethoden*. — *Zeitschrift für Geophysik*, 4, 1928, 22–27.
- L. KLAPPAUF, *Archäologische Prospektion, Befunde und Funde des frühmittelalterlichen Herrnsitzes zu Düna*. — *Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen*, 6, 1986, 46–59.
- H.-H. MÖLLER (Hrsg.), *Düna/Osterode — ein Herrnsitz des frühen Mittelalters*. — *Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen*, 6, 1986.

- W. SCHLÜTER, *Die vorgeschichtlichen Siedlungsreste von Oldendorf bei Melle*. — Der Grönegau, Meller Jahrbuch 1983, Band 1, 45—62.
- R. SCHULZ, *Interpretation and depth of investigation of gradient measurements in direct current geoelectrics*. — Geophysical Prospecting, **33**, 1985, 1240—1253.
- R. SCHULZ und E. MUNDY, *Archäologische Prospektion in Düna mit geoelektrischen Messungen*. — Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen, **6**, 1986, 31—38.
- J. C. WYNN, *Archaeological prospection: An introduction to the Special Issue*. — Geophysics, **51**, 1986, 533—537.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Rüdiger Schulz
Niedersächsisches Landesamt
für Bodenforschung
Stilleweg 2
3000 Hannover 51