

JOACHIM HOMILIUS

Geoelektrische Tiefensondierungen  
zur Untersuchung verdeckter archäologischer Befunde  
bei Xanten

Gliederung

1. Einführung
2. Widerstandsverfahren
  - 2.1. Spezifische Gesteinswiderstände
  - 2.2. Die Vierpunktanordnung
  - 2.3. Geoelektrische Kartierung
  - 2.4. Geoelektrische Tiefensondierung
    - 2.41. Prinzip
    - 2.42. Auswertung
  - 2.5. Technische Ausrüstung
3. Widerstandsmessungen bei Xanten
  - 3.1. Versuchsmessungen über Fundamentresten
  - 3.2. Versuchsmessungen über dem nordwestlichen Stadtwall
  - 3.3. Untersuchungen im Bereich des antiken Hafenbeckens
4. Zusammenfassung

1. Einführung

Im Zusammenhang mit den Ausgrabungsarbeiten des Rheinischen Landesmuseums Bonn ist im Jahre 1958 die Frage aufgetreten, wie weit auch in Deutschland die geoelektrischen Widerstandsverfahren zur Klärung spezieller archäologischer Fragen mit Erfolg herangezogen werden können. Da das Rheinische Landesmuseum zu diesem Zeitpunkt über keine Erfahrung auf dem geophysikalischen Sektor verfügte, wurde das damalige Amt für Bodenforschung<sup>1</sup> gebeten, bei der Anwendung von Widerstandsmessungen zu beraten und Versuchsmessungen durchzuführen. Als geeignetes Versuchsobjekt bot sich die Colonia Ulpia Traiana nordwestlich von Xanten an, wo die Untersuchungsmöglichkeiten durch moderne städtebauliche Maßnahmen noch nicht wesentlich eingeschränkt worden sind, wie dies z. B. in Köln oder Neuß der Fall ist.

<sup>1</sup>) Jetzt Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, das die geophysikalischen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben der Ländergemeinschaft wahrnimmt.



Über die Anwendung des geoelektrischen Widerstandsverfahren zur Untersuchung archäologischer Befunde war zum Zeitpunkt der ersten Versuchsmessungen lediglich eine ältere Arbeit von R. J. C. Atkinson bekannt<sup>2</sup>. Nach den ersten erfolgreichen Versuchen hat das Rheinische Landesmuseum selbst die Widerstandsmethode aufgegriffen und auf verschiedene archäologische Untersuchungsobjekte angewandt. Über die dabei entwickelte Methode und die technische Ausrüstung berichtet eine inzwischen erschienene Publikation<sup>3</sup>, aus der auch jüngere Literatur zu entnehmen ist.

Da in dieser und in den inzwischen bekannten Arbeiten fast ausschließlich die Widerstandskartierung behandelt wird, scheint es geboten, hier besonders auf die elektrische Tiefensondierung einzugehen, da diese für die Bearbeitung archäologischer Probleme eine wertvolle Ergänzung sein kann. Auf eine ausführliche Darstellung kann jedoch verzichtet werden, da die Widerstandsverfahren seit langem Gegenstand von Lehrbüchern<sup>4</sup> sind. Die Grundlagen sollen – unter Berücksichtigung der neuesten Entwicklungen – hier nur soweit behandelt werden, als diese zum Verständnis der weiteren Ausführungen notwendig sind. Dabei scheint es wichtig, die Unterschiede zwischen Kartierung und Tiefensondierung herauszustellen.

## 2. Widerstandsverfahren

### 2.1. Spezifische Gesteinswiderstände

Die Anwendbarkeit der Widerstandsverfahren der Angewandten Geophysik beruht auf der unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeit verschiedener Bodenschichten bzw. Gesteinskörper. Die elektrische Leitfähigkeit (in  $1/\text{Ohm}\cdot\text{m}$ ) oder ihr Kehrwert, der spezifische Widerstand (in  $\text{Ohm}\cdot\text{m}$ ), ist fast ausschließlich auf den Elektrolytgehalt des Gesteinsporenwassers zurückzuführen. Je mehr Wasser das Gestein enthält und je höher die Konzentration der dissoziierten Salze, Säuren und Basen im Wasser ist, um so niedriger ist der spezifische Widerstand des Gesteins. Einen Überblick über die spezifischen Widerstände einiger natürlicher Gesteinsarten im bergfeuchten Zustand vermittelt Abbildung 1.

Man erkennt, daß die spezifischen Widerstände der meisten Gesteinstypen innerhalb eines weiten Widerstandsbereiches schwanken können<sup>5</sup>. Das schließt nicht aus, daß sich in einem Meßgebiet der spezifische Widerstand einer Gesteinsart nur wenig ändert, wie dies bei Ton oder Lößlehm zu beobachten ist. Homogene Zusammensetzung und hohe Bindungsfähigkeit des Gesteins für Wasser schaffen hierfür bei den genannten Sedimenten die Voraussetzungen. Man könnte versuchen, die dargestellte Widerstandsskala um die im archäologischen Bereich auftretenden (künstlichen) Gesteinstypen zu ergänzen, und würde dann z. B. Ziegelmauerwerk in den Bereich der Sande und Kiese

<sup>2</sup>) R. J. C. Atkinson, *Field Archaeology* (2nd ed., London 1952).

<sup>3</sup>) I. Scollar, Einführung in die Widerstandsmessung, eine geophysikalische Methode zur Aufnahme von archäologischen Befunden unter der Erdoberfläche. *Bonner Jahrb.* 159, 1959, 284 ff.

<sup>4</sup>) P. Lasfargues, *Prospection electrique par courants continus* (Paris 1957). – H. Haalck, *Lehrbuch der angewandten Geophysik, Teil II* (Berlin 1958). – A. Bentz, *Lehrbuch der angewandten Geologie*, Bd. 1 (Stuttgart 1961). – L. W. Sorokin, *Lehrbuch der geophysikalischen Methoden zur Erkundung von Erdölvorkommen* (Berlin 1953).

<sup>5</sup>) Die logarithmische Skaleneinteilung ist bei Darstellungen in der Geoelektrik üblich, da es nur auf Widerstandsverhältnisse ankommt. Dennoch wird häufig bei Kartierungsarbeiten aus Gründen der Bequemlichkeit die lineare Skala bevorzugt.



einordnen können. Letzten Endes kommt es jedoch sowohl bei geophysikalischen Untersuchungen wie bei Messungen im archäologischen Bereich weniger auf die absolute Größe des Gesteinswiderstandes an als vielmehr auf die Widerstandsunterschiede im Schichtenaufbau des Bodens oder darauf, daß sich die Leitfähigkeit des verborgenen

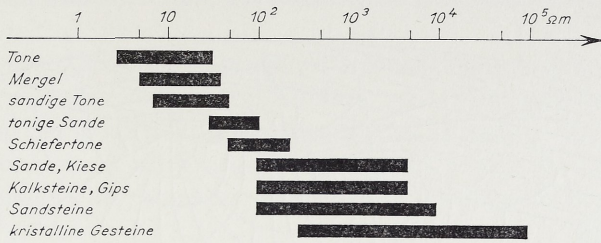


Abb. 1. Spezifische Widerstände des natürlichen Gesteins im bergfeuchten Zustand.

archäologischen Körpers oder Befundes (Mauerwerk, Graben, Wall) hinreichend von derjenigen des Nachbargesteins unterscheidet. Erst dann kann der Befund – genügende Ausdehnung und Größe vorausgesetzt – lokalisiert und können Aussagen über ihn gemacht werden. Da die oberflächennahen Schichten, in denen die archäologischen Körper im allgemeinen zu suchen sind, jahreszeitlich bedingten Feuchtigkeitsschwankungen unterliegen, können die beobachteten Widerstandsunterschiede im Laufe der Zeit ein verändertes Bild zeigen. Hierauf ist bei Wiederholungs- und Ergänzungsmessungen zu achten.

## 2.2. Die Vierpunktanordnung

Die Leitfähigkeitsmessung des Bodens erfolgt von der Oberfläche her. Dies geschieht fast ausschließlich mit der Vierpunktanordnung, welche sowohl bei der geoelektrischen Kartierung als auch bei der Tiefensondierung verwendet wird. Bei der Vierpunktanordnung wird über zwei Erder (Elektroden  $E_1, E_2$  in Abbildung 2) elektrischer Strom (Gleichstrom oder niederfrequenter Wechselstrom) durch den Boden geschickt und das dadurch entstehende Spannungsfeld an zwei weiteren zwischen  $E_1$  und  $E_2$  liegenden Erdungspunkten, den Sonden  $S_1, S_2$ , ausgemessen. Diese vier Erder stehen bei den am meisten verwendeten Anordnungen nach Schlumberger und Wenner auf einer geraden Linie. Bei der Wenner-Anordnung haben die vier Erdungspunkte den gleichen Abstand  $a$  voneinander, bei der Schlumberger-Anordnung ist der Sondenabstand  $a$  ( $= \overline{S_1 S_2}$ ) sehr viel kleiner als der Elektrodenabstand  $L$  ( $= \overline{E_1 E_2}$ )<sup>6)</sup>. Aus den gemessenen Werten der Stromstärke  $J$  und der Sondenspannung  $V$  ergibt sich ein Widerstandswert  $\rho_s$ , in den

<sup>6)</sup> Der Streit, welcher der beiden Anordnungen der Vorzug zu geben sei, ist wiederholt entbrannt, dürfte aber durch eine Arbeit von K. Deppermann (Geophys. Prosp. II, 1954, 262) entschieden sein. Danach ist bei Tiefensondierungen der Aussagegehalt einer Schlumberger-Meßkurve der Wenner-Meßkurve im wesentlichen äquivalent, so daß praktische Gründe für die Bevorzugung einer Anordnung maßgeblich sind. Durch den gleichen Abstand der vier Erdungspunkte im Falle der Wenner-Anordnung erweist diese sich bei Kartierungsaufgaben, bei denen mit kleinen Elektrodenabständen gearbeitet wird, als überlegen, da das Versetzen der Anordnung an eine benachbarte Meßstelle lediglich durch Umsetzen eines einzigen Erders möglich ist. Bei Tiefensondierungen dagegen wird die Schlumberger-Anordnung bevorzugt, weil hier nur die Stromelektroden bewegt zu werden brauchen, während die Sonden im Zentrum der Anordnung belassen werden können. Dadurch wird nicht nur Personal gespart, sondern auch die Meßkurve 'ruhiger', weil zusätzliche Inhomogenitäten im Sondenbereich sich auf die Meßkurve nicht auswirken.



auch der Elektrodenabstand  $L$  eingeht<sup>7</sup>. Man bezeichnet  $\rho_s$  als den zum Elektrodenabstand  $L$  gehörigen 'scheinbaren' spezifischen Widerstand des Untergrundes. Er stellt einen Mittelwert aller bei der gewählten Anordnung in die Messung eingehenden wahren spezifischen Bodenwiderstände dar und ist nur bei homogenem elektrischem Untergrund gleich dem wahren spezifischen Widerstand des Bodens.

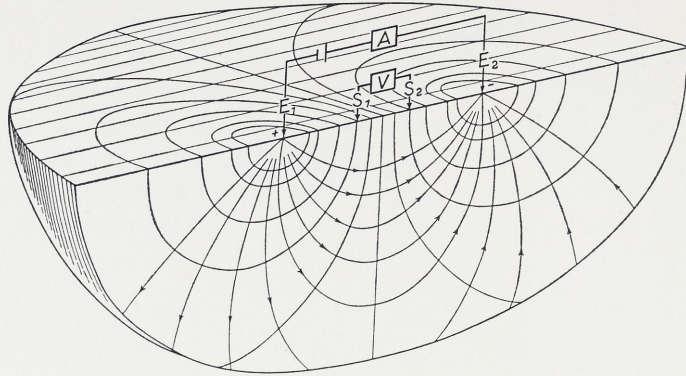


Abb. 2. Potentialfeld zweier Punktquellen.

### 2.3. Geoelektrische Kartierung

Geht man mit einer Vierpunktanordnung mit konstantem Abstand  $L$  schrittweise über einen elektrisch inhomogenen Untergrund hinweg (Abbildung 3) und trägt die gemessenen 'scheinbaren' Widerstandswerte nach Lage des Zentrums der Anordnung auf, so erhält man eine Kartierungskurve. Diese spiegelt im Groben die Leitfähigkeitsverhältnisse des Untergrundes bis zu einer Tiefe wider, die in erster Linie von der gewählten

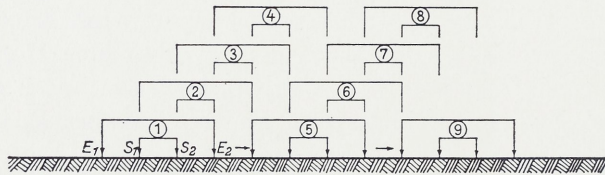


Abb. 3. Schematische Darstellung einer geoelektrischen Kartierung.

Elektrodenentfernung abhängt. Der scheinbare Widerstand ist aber auch eine Funktion des Schichtenaufbaus bzw. der Lage der Vierpunktanordnung zur vertikalen und horizontalen Begrenzung des zu untersuchenden archäologischen Körpers im Untergrund. In Abbildung 4 ist die Kartierungskurve berechnet, die entsteht, wenn der Körper ( $\rho_2 = 140 \text{ Ohm.m}$ ) bis an die Oberfläche reicht und sich vom angrenzenden Boden durch eine fast doppelt so gute Leitfähigkeit unterscheidet ( $\rho_1 = 75 \text{ Ohm.m}$ ). Man erkennt, daß nur dann, wenn der Mittelpunkt der Anordnung mindestens eine Entfernung  $L$  von der vertikalen Trennungslinie hat, die wahren spezifischen Widerstände des

7) Die Berechnung des scheinbaren spezifischen Widerstandes erfolgt bei der Schlumberger-Anordnung nach  $\rho_s(L/2) = k(L/2) \cdot V/J$  mit  $k = \frac{\pi}{a} [(L/2)^2 - (a/2)^2]$ , bei der Wenner-Anordnung  $\rho_s(a/2) = \pi a V/J$ .



Bodens und des Körpers annähernd erreicht werden. Im Zwischengebiet von der Ausdehnung 2 L werden durch den scheinbaren Widerstand alle Werte zwischen 75 und 140 Ohm.m angenommen. Die Kartierungskurve ist nicht glatt; sie erleidet immer dann einen Knick, wenn ein Erder die Trennungsfäche überschreitet. Es ist indessen zu erkennen, daß die stärkste Änderung des scheinbaren Widerstandes im Bereich der Trennungsfäche liegt.

Das Kurvenbild der Abbildung 4 bleibt im wesentlichen erhalten, wenn der archäologische Körper und das benachbarte Gestein von einer geoelektrisch homogenen, aber nicht zu starken Bodenschicht bedeckt werden. Lediglich die Ecken der Kurve werden mehr oder weniger stark abgerundet sein. Ist jedoch die Deckschicht im Vergleich zur Ausdehnung des gesuchten Körpers sehr mächtig, so brauchen die wahren

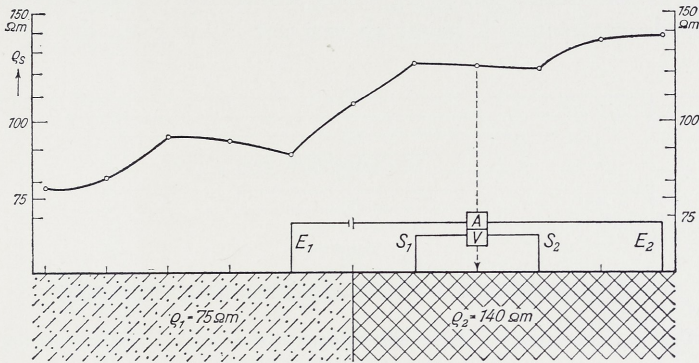


Abb. 4. Theoretische Kartierungskurve über einer vertikalen Störung, berechnet für die Wenner-Anordnung (nach E. W. Carpenter, vgl. Anm. 8).

spezifischen Widerstände des Körpers in der Kartierungskurve überhaupt nicht angenommen zu werden. Der scheinbare Widerstand, der unmittelbar über dem Zentrum des Körpers gemessen wird, liegt zwischen dem wahren spezifischen Widerstand des Körpers einerseits und den wahren spezifischen Widerständen der Deckschicht bzw. des benachbarten Gesteins andererseits. Trotzdem wird es häufig möglich sein, 'Anomalie-zonen' zu kartieren, die auf einen archäologischen Körper mit seinen meist regelmäßigen Formen schließen lassen.

Beispiele von geoelektrischen Kartierungen über archäologischen Körpern werden unten behandelt. Weitere Beispiele sind in der Arbeit von Scollar<sup>9</sup> zu finden, wo auch – als Erweiterung der Kartierung auf Profilen – die Flächenkartierung und die für die Interpretation der Flächenkartierung entwickelte Filtertheorie behandelt wird. Die Filtertheorie dient dazu, die Meßergebnisse der Kartierung für die Interpretation zu verdeutlichen und von Zufälligkeiten zu befreien. Denn selbst bei einer geoelektrisch homogenen Deckschicht werden in der Praxis selten die Kartierungspunkte eines Profils durch einen glatten Kurvenbogen verbunden werden können. Kleine Inhomogenitäten im Bereich der vier Erdungspunkte genügen, um Sprünge in der Kartierungskurve eines Meßprofils hervorzurufen.

<sup>8)</sup> E. W. Carpenter, Some notes concerning the Wenner configuration, in: Geophys. Prosp. III, 1955, 388.

<sup>9)</sup> I. Scollar a. a. O. (vgl. Anm. 3) 293 f.



Bevor eine geoelektrische Kartierung durchgeführt wird, ist es notwendig, sich über den Leitfähigkeitsaufbau des Untergrundes einen Überblick zu verschaffen, um die für das Problem geeignete Elektrodenentfernung  $L$  zu ermitteln. Dies gelingt am leichtesten durch eine Tiefensondierung. Nur dann, wenn Anhaltspunkte über die Tiefenlage der archäologischen Körper vorliegen, kann auf eine Tiefensondierung verzichtet werden.

## 2.4. Geoelektrische Tiefensondierung

### 2.4.1. Prinzip

Bei einer Tiefensondierung in der Schlumberger-Anordnung, die schematisch in Abbildung 5 dargestellt ist, werden in der Ausgangsposition die vier Erder ähnlich wie bei der Kartierung in einer Reihe und mit gleichen Abständen voneinander aufgestellt. Die kleinste Elektrodenentfernung  $L$  hängt ab von der Mächtigkeit der Deckschicht, über

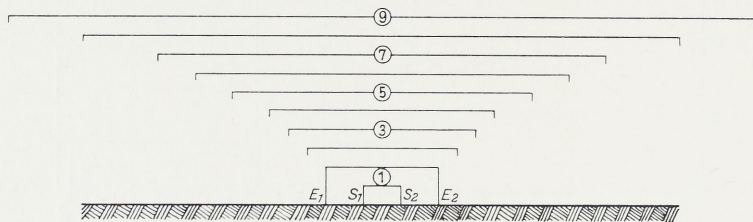


Abb. 5. Schematische Darstellung einer geoelektrischen Tiefensondierung in der Schlumberger-Anordnung.

die noch Aussagen gewonnen werden sollen. Die Sonden  $S_1S_2$  bleiben während der ganzen Tiefensondierung im Zentrum der Anordnung. Die Elektroden  $E_1E_2$  werden von zwei Meßgehilfen jeweils auf ein Signal in die nächsten Positionen gebracht, die durch Marken auf zwei Meßschnüren gekennzeichnet sind. Diese Marken haben nicht den gleichen Abstand voneinander, vielmehr werden die Abstände um so größer, je weiter die Entfernung vom Mittelpunkt der Anordnung ist. Die maximale Elektrodenentfernung richtet sich nach der gewünschten Aufschlußtiefe und ist jeweils dem zu bearbeitenden Problem anzupassen. Als Faustregel gilt, daß die maximale Elektrodenentfernung  $L$  wenigstens achtmal so groß wie die Aufschlußtiefe sein soll. Den gemessenen scheinbaren Widerstand  $\varrho_s$ , in dem sich die Veränderungen der Leitfähigkeit des Untergrundes anzeigen, trägt man in Abhängigkeit von der halben Elektrodenentfernung auf einem doppeltlogarithmischen Papier auf und verbindet die Meßpunkte durch eine glatte Linie. Diese 'Sondierungskurve'  $\varrho_s(L/2)$  muß nun ausgewertet werden.

Der Verlauf einer Sondierungskurve im Falle eines horizontal geschichteten Untergrundes soll kurz an Hand der Abbildung 6 verdeutlicht werden. Liegt ein homogener Untergrund vor, so wird für jede Elektrodenposition der scheinbare Widerstand gleich dem wahren spezifischen Widerstand des Bodens sein, d. h. die Sondierungskurve besteht aus einer Geraden, die parallel zur  $L/2$ -Achse verläuft (Fall a in Abbildung 6). Liegt in der Tiefe  $h_1$  ( $= 2$  Meter, Fall b) eine zweite Schicht mit geringerer Leitfähigkeit vor, so wird sich diese Schicht von einer gewissen Elektrodenentfernung an durch



eine Erhöhung des scheinbaren Widerstandes bemerkbar machen. Erst bei Elektrodenentfernungen, die groß im Vergleich zur Mächtigkeit der Deckschicht sind, wird der wahre Widerstand (75 Ohm.m) der zweiten Schicht angenommen. Schiebt sich zwischen Deckschicht und Liegendschicht eine dritte Schicht (475 Ohm.m), so strebt die Sondierungskurve zunächst den Widerstandswerten dieser mittleren Schicht zu, wird sich jedoch mit zunehmender Elektrodenentfernung dem wahren Widerstand der untersten Schicht nähern (Fall c und d). Aus Abbildung 6 ist zu entnehmen, daß dies um so

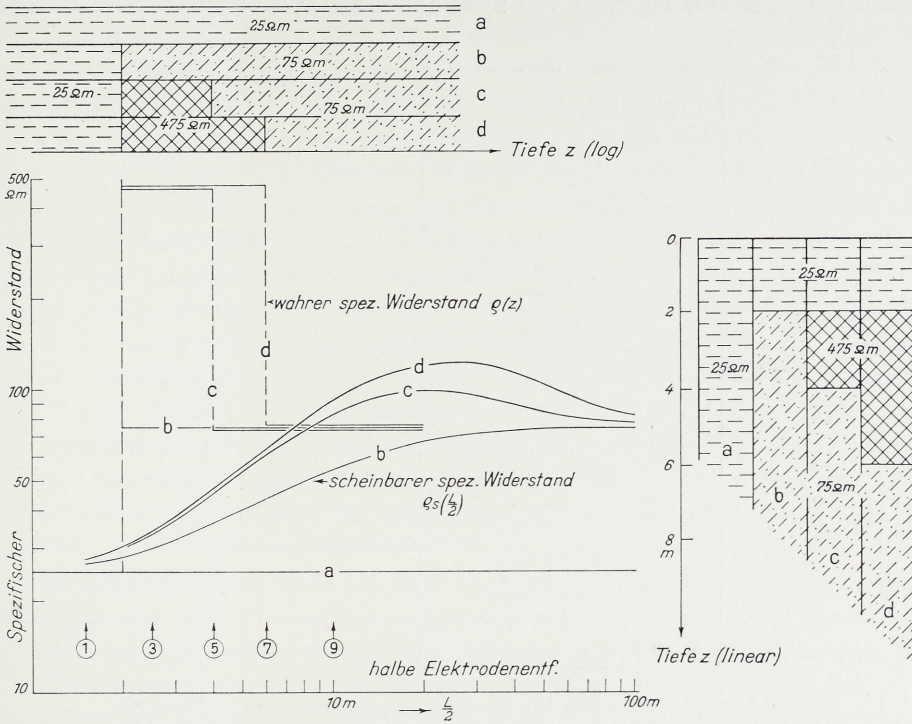


Abb. 6. Theoretische Sondierungskurven über einem homogenen Untergrund (a) und über einem Untergrund mit zwei bzw. drei horizontal gelagerten Widerstandsschichten (b-d), berechnet für die Schlumberger-Anordnung. Die Zahlen in den Kreisen geben die Positionen nach Abbildung 5 wieder, wenn die Ausgangsposition 1 einen Elektrodenabstand L von 3 m hat.

früher geschieht, je geringmächtiger die Zwischenschicht ist. Dieses Verhalten gehorcht strengen mathematischen Gesetzmäßigkeiten und ist in der Theorie des geoelektrischen Widerstandsverfahrens ausführlich behandelt.

Die Tiefensondierung ist in ihrer Durchführung, in instrumenteller Hinsicht wie auch in ihrer Deutung zwar aufwendiger als eine Kartierung, der Aussagegehalt ist jedoch erheblich größer. Man verdeutliche sich an Hand der Abbildungen 3, 5 und 6, daß ein Kartierungspunkt nur einen Meßpunkt einer Tiefensondierungskurve darstellt, dessen Höhe sich nach den verschiedensten Meßfaktoren richtet, zunächst nach der Elektrodenentfernung, dann aber auch nach den Mächtigkeiten und spezifischen Widerständen der einzelnen Schichten und ihrer Folge. Während also eine geoelektrische Kartierung nur ein qualitatives Bild vom geologischen Bereich oder von dem archäologischen Denkmal geben kann, können durch Tiefensondierungen Aussagen über den Schichten-



aufbau des Untergrundes und – in gewissen Fällen – über die Lage von Körpern und Strukturen im Untergrund gewonnen werden.

#### 2.42. Auswertung

Die Auswertungsmöglichkeiten einer Sondierungskurve sind im Falle eines horizontal geschichteten Untergrundes intensiv untersucht worden. Das Ziel der Auswertung besteht in der Ermittlung der wahren spezifischen Schichtwiderstände und der Schichtgrenzen. Bei einer Überlagerung von zwei horizontalen Schichten verschiedener elek-

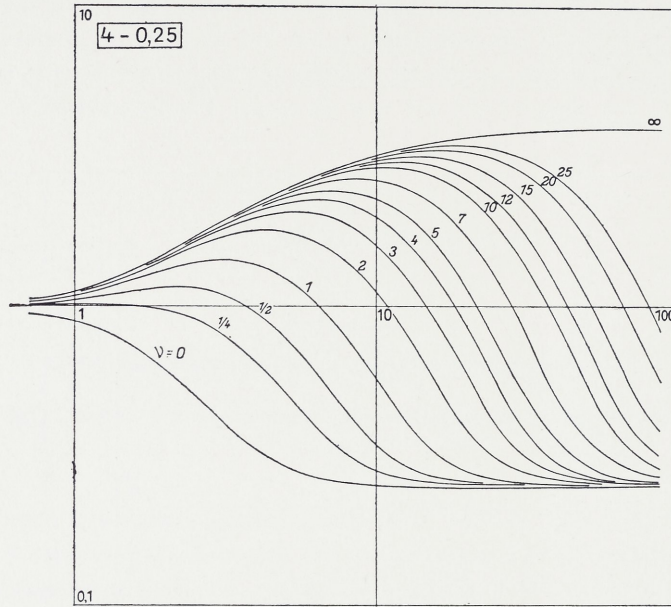


Abb. 7. Modellkurvenschar für drei horizontal gelagerte Schichten mit dem Verhältnis der spezifischen Widerstände  $\rho_1 : \rho_2 : \rho_3 = 1 : 4 : 0,25$ , berechnet für die Schlumberger-Anordnung. Scharparameter  $\nu$  ist das Verhältnis der Mächtigkeit der zweiten zur ersten Schicht.

trischer Leitfähigkeit können ohne Mühe durch Vergleich mit 2-Schichtstandardkurven die wahren spezifischen Widerstände beider Schichten und die Tiefe der einen Grenzschicht angegeben werden. Bei einer Folge von mehr als zwei Schichten müssen zur Bestimmung der Schichtgrenzen zunächst die wahren spezifischen Widerstände der Schichten bekannt sein. Bei drei Schichten kann man den spezifischen Widerstand der Deckschicht und den der dritten Schicht der Meßkurve entnehmen; der spezifische Widerstand der zweiten Schicht muß jedoch auf anderem Wege gewonnen werden. Dies gelingt praktisch z. B. durch Messungen an Stellen, an denen die Deckschicht sehr geringmächtig ist oder die Schicht, deren spezifischer Widerstand gesucht wird, ansteht. Gelingt es nicht, sich Anhaltspunkte über den Widerstand der mittleren Schicht zu verschaffen, so bleibt die Auswertung mehrdeutig, d. h. aus der Meßkurve lassen sich 'äquivalente' Schichtenfolgen ablesen, die sich in der Lage der Schichtgrenzen und im spezifischen Widerstand der mittleren Schichten unterscheiden. Man kann dann nur ein



relatives Bild der Schichten im Untergrund entwerfen, das jedoch oftmals schon wertvolle Erkenntnisse bringen und mittels eines Aufschlusses (z. B. eine Bohrung oder ein Schurf) in ein Bild mit absoluten Mächtigkeitsangaben umgewandelt werden kann.

Für den bei der Auswertung notwendigen Vergleich mit Modellkurven werden Kurvenscharen herangezogen, die aus theoretisch-physikalischen Formeln berechnet werden. Die Berechnung solcher Modellkurven ist sehr aufwendig und läßt sich nur durch elektronische Rechenmaschinen rationell und in kurzer Zeit bewältigen. Diese Arbeit ist bereits von mehreren Instituten geleistet worden. Es liegen Kataloge solcher Modellkurven, insbesondere für 2 und 3 Widerstandsschichten vor, die auch teilweise veröffentlicht sind<sup>10</sup>. In Abbildung 7 ist als Beispiel eine Schar berechneter 3-Schichtkurven wiedergegeben, die für eine Schichtenfolge mit den spezifischen Widerständen  $\rho_1 = 1$ ,  $\rho_2 = 4$ ,  $\rho_3 = 0,15$  gültig ist. Als Scharparameter  $\nu$  ist die Mächtigkeit der zweiten Schicht im Verhältnis zur Mächtigkeit der ersten Schicht (Deckschicht) gewählt.

Zur Auswertung einer Meßkurve vom Typ einer 3-Schichtkurve wählt man aus dem 3-Schichtkurven-Katalog diejenige Schar aus, in der eine Kurve der Schar mit der Meßkurve zur Deckung gebracht werden kann und überträgt graphisch die Schichtgrenzen. Es ist verständlich, daß auch bei einer großen Anzahl von Modellkurven – 1000 Kurven sollte ein einigermaßen vollständiger 3-Schichtkurven-Katalog enthalten – nicht immer eine passende Kurve gefunden werden kann, ja oftmals noch nicht einmal eine Schar, in der die Meßkurve als Interpolationskurve eingeordnet werden kann. Dann ist eine zusätzliche Interpolation nach den Widerständen der zweiten und dritten Schicht notwendig. Damit deutet sich bereits an, daß grundsätzlich auch dann nicht alle Schwierigkeiten behoben sein werden, wenn ein Katalog von 3-Schichtmodellkurven zur Verfügung steht.

Bei Sondierungskurven mit mehr als drei Widerstandsschichten werden naturgemäß die Schwierigkeiten der Auswertung wegen der Mannigfaltigkeit der Kurventypen größer. Solche Mehrschichtfälle treten nicht nur bei geologischen, sondern auch bei archäologischen Problemen häufig auf. Hier können die Hilfspunktmethoden weiterhelfen, die in Verbindung mit einem 3-Schichtkurven-Katalog mit Erfolg zur Auswertung von Sondierungskurven über einem horizontal geschichteten Untergrund mit mehr als drei Schichten herangezogen werden<sup>11</sup>.

Bei der Aufnahme von Sondierungskurven tritt gelegentlich der Fall auf, daß der Verlauf einer Kurve nicht glatt ist, sondern Sprungstellen aufweist. Die Ursache wird in den meisten Fällen ein krasser Wechsel im Deckschichtwiderstand oder in der Deckschichtmächtigkeit sein. Weiterhin werden Kurven gemessen, deren Form auf eine starke Abweichung von der horizontalen Lagerung der Schichten im Untergrund schließen läßt. Theorien zur Behandlung dieser Fälle sind aufgestellt und Modellkurven berechnet worden<sup>12</sup>. Als Beispiel ist in Abbildung 8 eine Schar theoretischer Sondierungs-

<sup>10</sup>) 'Abaques de Sondage Electrique', Compagnie General de Geophysique, in: Geophys. Prosp. III, Supp. 3, 1955. – H. M. Mooney and W. W. Wetzel, The potential about a point electrode and apparent resistivity curves for a two-, three-, and four-layer earth, University of Minnesota Press (Minneapolis 1956). Der Katalog der CGG enthält Modellkurven in Schlumberger-Anordnung, derjenige von Mooney und Wetzel Kurven in Wenner-Anordnung.

<sup>11</sup>) J. Homilius, Über die Auswertung geoelektrischer Sondierungskurven im Falle eines vielfach geschichteten Untergrundes, in: Zeitschr. f. Geophys. 27, 1961, 282.

<sup>12</sup>) O. Logn, Mapping nearly vertical discontinuities by earth resistivities, Geophysics XIX, 1954. – G. Kunetz, Einfluß vertikaler Schichten auf elektrische Sondierungen, in: Zeitschr. für Geophys. 21, 1955, 10.



kurven dargestellt, die in der Nähe einer vertikalen Störung gemessen werden können. Die Störung trennt Gestein mit einem spezifischen Widerstand  $\rho_1$  von solchem mit einem spezifischen Widerstand  $\rho_2$ . Die Auslagerichtung der Tiefensondierung ist parallel zur Störung zu denken; die Störung verläuft im Abstand  $2h$  von der Sondierung. Im Untergrund erstreckt sich eine ausgedehnte Basisschicht mit extrem hohen Widerständen  $\rho_3 = \infty$  in der Tiefenlage  $h$ . Derartige Modellkurvenscharen dienen meist nur zum qualitativen Vergleich. In der Praxis wird man versuchen, allein diejenigen Meßkurven für eine quantitative Auswertung heranzuziehen, bei denen eine nahezu horizontal gelagerte Schichtung im Untergrund erwartet werden darf. Vielfach

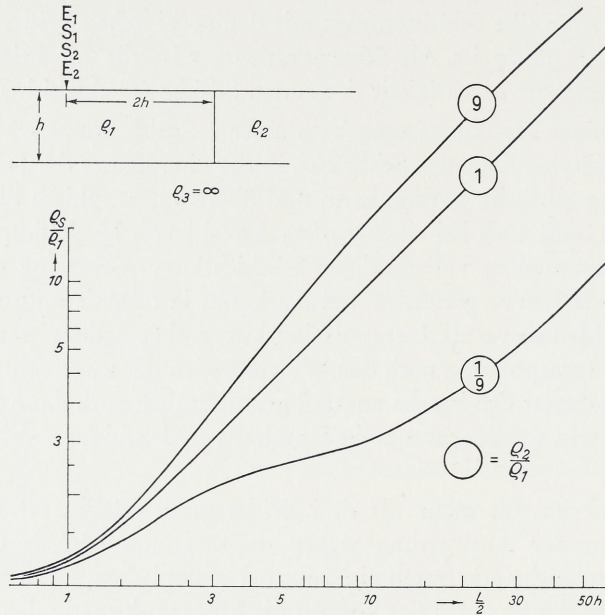


Abb. 8. Theoretische Sondierungskurve, parallel zu einer vertikalen Störung gemessen (nach G. Kunetz, vgl. Anm. 12).

läßt sich auf Grund der Erfahrung bereits bei der Anlage einer Tiefensondierung verhindern, daß allzu inhomogene Bodenschichtungen in die Sondierung mit eingehen.

Diese Ausführungen können nur Hinweise auf die Auswertungsmöglichkeiten von geoelektrischen Tiefensondierungen geben und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Um eine Auswertung praktisch durchführen zu können, bedarf es einer Vertiefung in die Fachliteratur und zunächst des Studiums vieler einfacher Fälle, um die Methode routinemäßig zu beherrschen. Sie wird sich dann als ein relativ billiges und rasches Verfahren erweisen, das für die Erkundung auch großflächiger archäologischer Untersuchungsbereiche herangezogen werden kann. Die Tatsache, daß die Durchführung der Messungen kaum Flurschaden verursacht, oder zumindest in eine Jahreszeit gelegt werden kann, wo Flurschäden vermeidbar sind, schafft Erkundungsmöglichkeiten auch dort, wo die klassischen Aufschlußmethoden nicht eingesetzt werden können.



## 2.5. Technische Ausrüstung

Der geoelektrische Feldbetrieb wird durch modern eingerichtete Meßwagen sehr erleichtert (Taf. 18,2). Das Meßgerät, das dem Verfasser zur Verfügung steht, setzt sich im wesentlichen aus zwei Einheiten zusammen, die auf Tafel 18,1 abgebildet sind. Die obere Einheit enthält die Instrumente für die Stromanzeige (rechts) und die Spannungsanzeige (links). Die Spannungsmessung erfolgt mit einem äußerst empfindlichen Gleichspannungsverstärker, der Spannungen unter 0,01 mV noch zu registrieren gestattet. Das untere Instrument gehört zum Stromversorgungsteil, der einen regelbaren Transformator (großer schwarzer Knopf) und Gleichrichtersätze enthält. Der Strom wird einer Autobatterie entnommen. Um den Strom stufenlos regeln zu können, wird mit Hilfe eines Turbowechselrichters der Gleichstrom umgewandelt, stufenlos transformiert und wieder gleichgerichtet. Man kann damit den Strom so einregeln, daß er zahlenmäßig gleich der Abstandsgröße  $k(L/2)$  wird, womit der abgelesene Spannungswert meßzahlgleich mit dem scheinbaren spezifischen Widerstand wird<sup>13</sup>. Die kleinen Instrumente auf der linken Seite der unteren Einheit dienen zur Kontrolle der Elektrodenerdung bei den zwei Meßgehilfen. – Diese Ausrüstung ist vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung für großräumige geophysikalische Untersuchungen entwickelt worden. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, Aussagen über einen mehrere hundert Meter tiefen Untergrund zu gewinnen. Die Einrichtung ist jedoch ebenso gut geeignet, Kartierungs- und Sondierungsarbeiten mit relativ geringer Aufschlußtiefe, wie sie im archäologischen Bereich vorkommen, auszuführen. Dabei kann es vorteilhaft sein, daß die Meßgeräte in einer vom Meßwagen unabhängigen Form einsatzfähig sind.

## 3. Widerstandsmessungen bei Xanten

### 3.1. Versuchsmessungen über Fundamentresten

Die Colonia Traiana ist durch Ausgrabungsarbeiten im vorigen Jahrhundert und in neuerer Zeit in vielen Einzelheiten bekannt geworden<sup>14</sup>. Die römische Siedlung lag nordwestlich der heutigen Stadt Xanten (Abbildung 9) und ist wegen geringer moderner Bebauung weiteren Untersuchungen zugänglich. Insbesondere stellen sich geophysikalischen Untersuchungen keine wesentlichen Geländeschwierigkeiten entgegen. Im Jahre 1958 wurden hier die ersten geoelektrischen Versuchsmessungen ausgeführt.

Den Untersuchungen im Bereich der Stadtmauer und des Hafens gingen Versuche voraus, durch die geprüft werden sollte, wie weit sich bei geoelektrischen Kartierungsarbeiten oder bei Tiefensondierungen verdeckte Mauerreste im Widerstandsbild bemerkbar machen. Ein erstes Profil wurde senkrecht zur Verlängerung einer sehr breiten, teilweise freigelegten Mauer angesetzt. Das Auswertungsergebnis der in Abständen von 1,5 m angesetzten Tiefensondierungen zeigt der Vertikalschnitt in Abbildung 10.

<sup>13</sup>) Vgl. Formel in Anm. 7.

<sup>14</sup>) Als zusammenfassende Arbeiten seien genannt: H. v. Petrikovits, Die Ausgrabungen in der Colonia Traiana bei Xanten, die Ausgrabungen der Kernsiedlung und der Uferanlagen (1934–1936), in: Bonner Jahrb. 152, 1952, 41 ff. – Ders., Das röm. Rheinland (1960) 96 ff. – H. Hinz, Xanten zur Römerzeit<sup>2</sup> (Xanten 1963). – H. Hinz, I. Bericht über die Ausgrabungen in der Colonia Traiana nördlich von Xanten, in: Bonner Jahrb. 161, 1961, 343 ff. – H. Hinz, Xanten, in: Handbuch der historischen Stätten Deutschlands 3 (Stuttgart 1963. – Hrsg. W. Zimmermann † u. H. Borger) 674 ff.



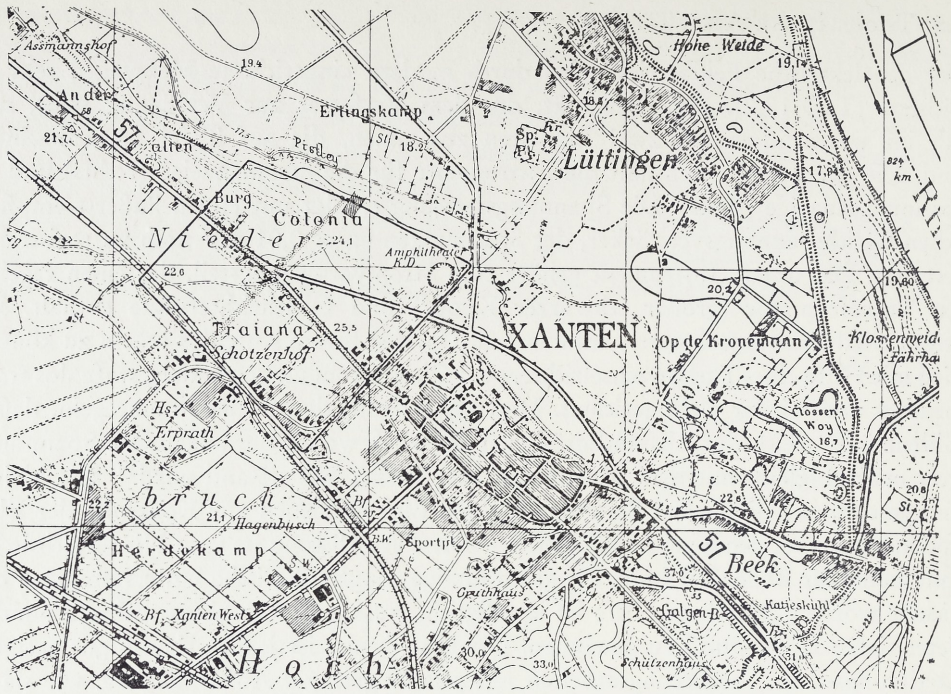


Abb. 9. Lage der Colonia Traiana bei Xanten.

Deutlich unterscheiden sich danach die Widerstandswerte im Bereich des vermuteten Fundamentes von den übrigen Werten, die wesentlich tiefer liegen. Daß es sich bei den erhöhten Widerstandswerten nicht allein um Mauerreste, sondern auch um Austrocknungszone über der Mauer handelt, wurde durch das Profil zwischen zwei freigelegten Fundamentstücken nachgewiesen. Auch hier beobachtet man beim Überschreiten der Mauer hohe Widerstände. Sie setzen jedoch schon oberhalb der mit 1 m mächtigem

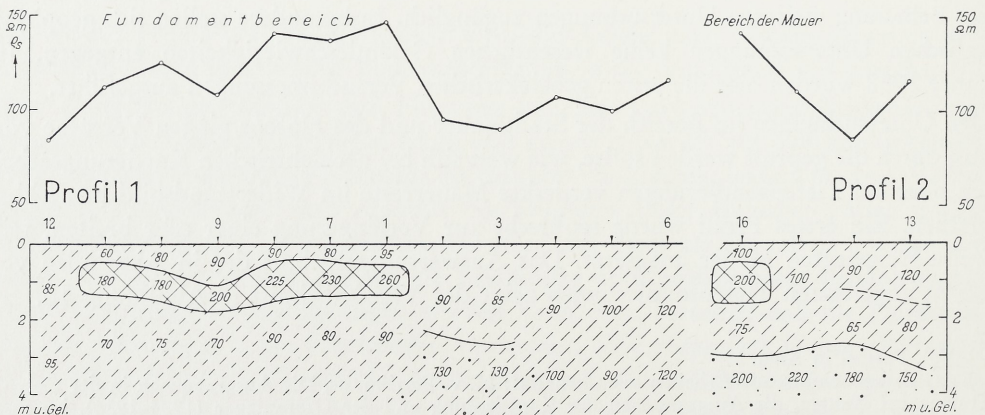


Abb. 10. Kartierungskurven über Fundamentresten (Elektrodenabstand  $L = 4\text{ m}$ ). Darunter Vertikalschnitte, gewonnen aus Tiefensondierungsergebnissen (nicht überhöht).



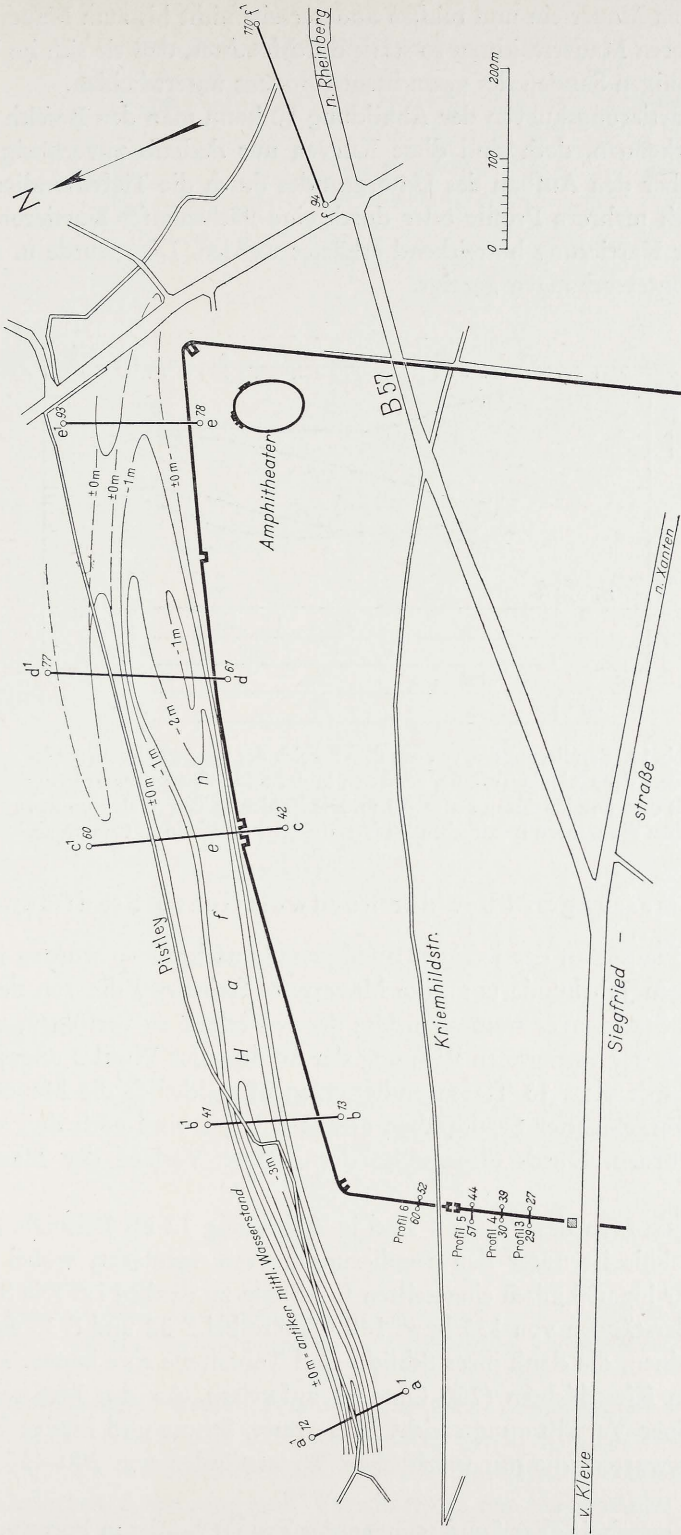


Abb. 11. Lage der geoelektrischen Meßprofile.



Abraum bedeckten Mauer ein und reichen andererseits nicht bis zum Mauerfuß. Offenbar sind die tieferen Mauerschichten so stark durchfeuchtet, daß sie sich im Widerstand nicht von den tonigen Sanden des gewachsenen Bodens unterscheiden.

Auch aus den Kartierungskurven der Abbildung 10 kann man den Bereich der Fundamentreste gut erkennen, doch sind diese Kurven nur deshalb zuverlässig zu deuten, weil Aussagen über den Aufbau des Untergrundes durch die Tiefensondierungen vorliegen. Erst durch mehrere Profile oder durch eine flächenhafte Kartierung kann die Aussagekraft der Kartierung hinreichend erhärtet werden. Dies wurde u. a. durch die nachfolgenden Untersuchungen gezeigt.

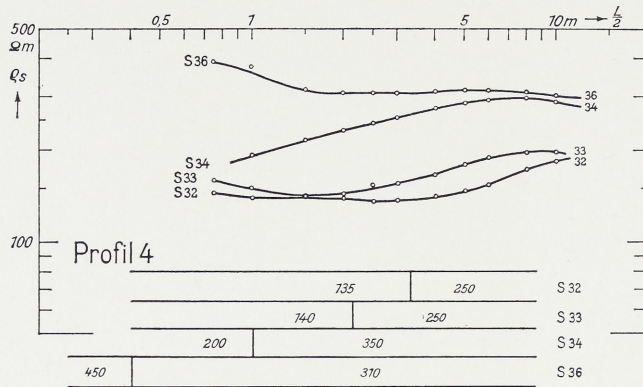


Abb. 12. Sondierungskurven aus dem Bereich der nordwestlichen Stadtmauer der Colonia Traiana, gemessen in der Schlumberger-Anordnung mit dem Sondenabstand  $a = 0,5$  m. Die Zahlen in den Säulenprofilen geben die wahren spezifischen Widerstände der Schichten in Ohm.m an.

### 3.2. Versuchsmessungen über der nordwestlichen Stadtmauer

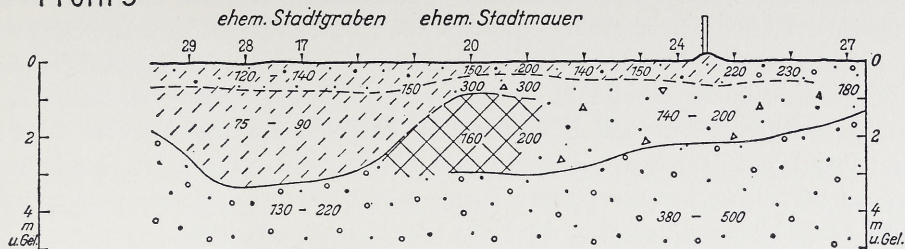
Beim Bau eines Hauses an der jetzigen Bundesstraße nach Kleve wurden in den 80-er Jahren des vorigen Jahrhunderts antike Mauerreste freigelegt, die von der nordwestlichen römischen Stadtmauer stammten. Um deren Verlauf zu verfolgen, wurde nördlich des Hauses in der vermuteten Richtung der Stadtmauer Profil 3 angesetzt (Abbildung 11). Da durch diese 13 Tiefensondierungen offensichtlich die Mauer, außerdem ein der Mauer vorgelagerter Stadtgraben erfaßt wurden, sind noch drei weitere Profile gemessen worden. Durch diese sollte der weitere Verlauf der Mauer bestätigt werden.

Vier Sondierungskurven des Profils 4 sind in Abbildung 12 als Beispiele gezeigt. Das Auswertungsergebnis ist unter den Sondierungskurven vermerkt, wobei die Tiefenskala parallel zur logarithmisch eingeteilten  $L/2$ -Skala zu denken ist. Die Schichten mit spezifischen Widerständen von 135 bzw. 140 Ohm.m bei S 32 und S 33 sind der Grabenzone zuzuordnen, die dank ihrer Schlick- und Tonanteile eine bessere Leitfähigkeit als die liegenden Kiesschichten (250 Ohm.m) aufweisen. An den Meßstellen 34 und 36 sind unter einer Verwitterungsschicht Mauerreste, Schutt und kiesige Terrassenablagerungen zu erwarten, die mit spezifischen Widerständen von 200–450 Ohm.m erscheinen.

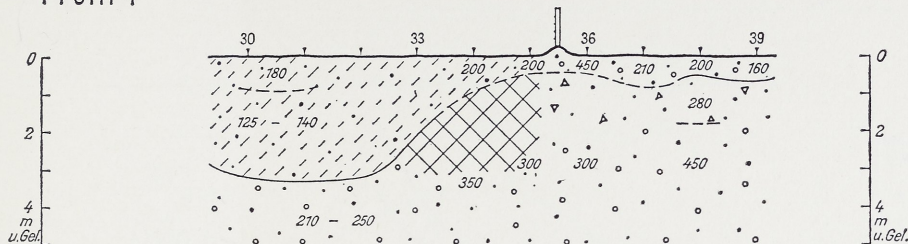
Das Auswertungsergebnis aller Sondierungen der Profile 3–6 ist in Form von Vertikal-



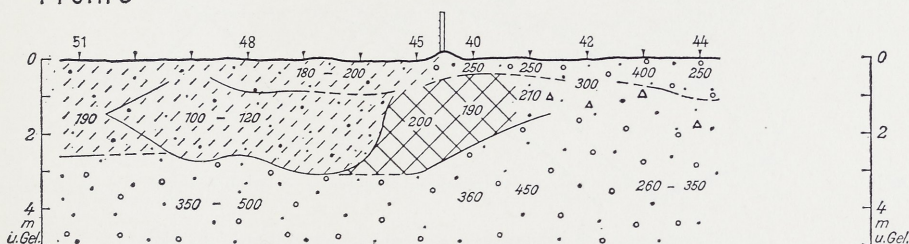
Profil 3



Profil 4



Profil 5



Profil 6

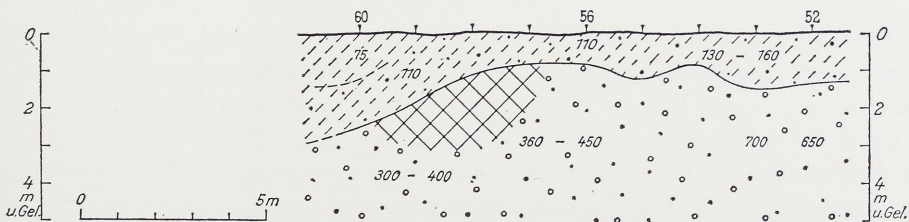


Abb. 13. Nicht überhöhte Vertikalschnitte aus dem Bereich der nordwestlichen Stadtmauer der Colonia Traiana, gewonnen aus Tiefensondierungsergebnissen.

schnitten in Abbildung 13 zusammengefaßt. Die wahren spezifischen Widerstände – gemessen in Ohm.m – sind in den Schichten jeweils vermerkt. Es fällt auf, daß besonders die Mauerzone stark streuende Widerstandswerte aufweist, wahrscheinlich eine Folge der unterschiedlichen Abtragung und Verwitterung des Mauerwerks. In jedem Profil kann jedoch die Mauerzone mit genügender Sicherheit geoelektrisch von der nordwest-



lich angrenzenden Stadtgrabenzone unterschieden werden. Darüber hinaus ist es möglich, über die Tiefe des Stadtgrabens quantitative Angaben zu machen. Die Grabenverfüllung reicht in allen Profilen 3 bis 3,5 m unter die heutige Geländeoberfläche. Die vier Profile sind in der Abbildung so angeordnet, daß die Meßstellen, welche in der einmal festgelegten Flucht der Mauer stehen, untereinanderliegen. Dabei zeigt sich, daß im Profil 5 die Grabenzone etwas nach Nordwesten versetzt ist. Das kann mit einem aus der Flucht herausragenden Turm- oder Stadttorfundament zusammenhängen. Ein solches Bauwerk wird in der Nähe von Profil 5 vermutet.

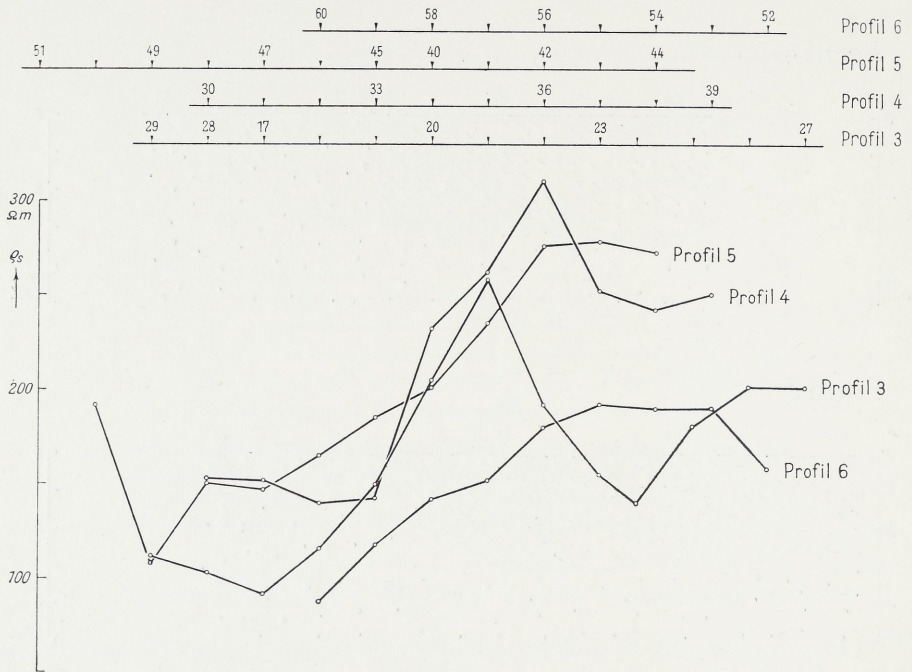


Abb. 14. Kartierungskurven aus dem Bereich der nordwestlichen Stadtmauer der Colonia Traiana (Elektrodenabstand  $L = 4$  m).

Abbildung 14 gibt Kartierungskurven wieder, die zum Vergleich mit den Tiefensondierungen über demselben Bereich der Colonia Traiana aufgenommen wurden, auf dem die Profile 3–6 liegen. Für die Kartierung wurde 4 m als Elektrodenstrecke gewählt, weil sich dann die bis zu 3,5 m tiefe Grabenfüllung besonders gut in der Kartierungskurve heraushebt. Ohne Kenntnis dieses aus den vorangegangenen Tiefensondierungen gewonnenen archäologischen Befundes wäre man gezwungen gewesen, zunächst durch einige Testsondierungen die am besten geeignete Elektrodenstrecke zu ermitteln. Man entnimmt der Abbildung 14, daß die charakteristischen Leitfähigkeitsmerkmale sowohl der Mauerzone (hohe scheinbare spezifische Widerstände rechts) als auch der Grabenzone (niedrige Widerstände links) herauskommen. Derartige Kartierungen werden immer dort von Nutzen sein, wo es allein darauf ankommt, die Lage von archäologischen Denkmälern zu erkunden<sup>15</sup>. Es lassen sich jedoch keine Schlüsse auf die vertikale

<sup>15</sup>) Vgl. auch I. Scollar a. a. O. (Anm. 3) 293 Abb. 3. – Die dort gezeigten Kartierungsergebnisse schließen sich räumlich und zeitlich an die 1958 vermessenen Profile 3–6 an.



Struktur des Untergrundes ziehen. Dieser Nachteil der Kartierung gegenüber der Tiefensondierung kann auch nicht durch die 5- bis 10-fach größere Meßgeschwindigkeit ausgeglichen werden.

### 3.3. Untersuchungen im Bereich des antiken Hafenbeckens

Die nordöstliche Stadtmauer der Colonia Traiana grenzte an ein antikes Hafenbecken, das wahrscheinlich aus einem alten Rheinarm am Rande der Terrasse, an der die Colonia errichtet wurde, ausgehoben worden war. Bei den Ausgrabungen in den Jahren 1934 bis 1936 wurde ein Hafenkai gefunden<sup>16</sup>. Die Hafenbreite wurde mit 45 m ge-

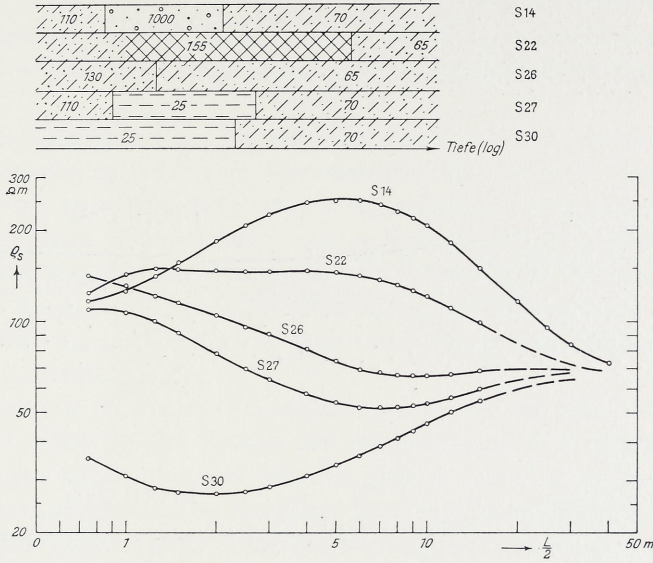


Abb. 15. Sondierungskurven aus dem Bereich des römischen Hafenbeckens bei der Colonia Traiana, gemessen in der Schlumberger-Anordnung mit einem Sondenabstand  $a = 0,5$  m. Die Zahlen in den Säulenprofilen geben die wahren spezifischen Widerstände der Schichten in Ohm.m an.

schätzt. Über die Lage des Beckens war jedoch infolge der holozänen Einebnung im einzelnen nichts bekannt. Es bestand deshalb der Wunsch, durch geoelektrische Widerstandsmessungen einen Beitrag zur Klärung der Ausdehnung des antiken Hafens zu liefern und darüber hinaus der Frage nachzugehen, ob die Verbindung des Hafenbeckens zum Rhein lokalisiert werden kann.

Im Pistley-Tal nordöstlich der antiken Stadtmauer wurde im Jahre 1958 ein erstes geoelektrisches Profil mit 29 Tiefensondierungen gemessen, das an der nördlichen Ecke der Colonia anknüpfte (Profil b in Abbildung 11). Der Meßpunktabstand betrug im Mauerbereich 3 m und im Hafenbereich 6 m. Im Jahre 1960 wurden die Profile a und c-e mit einem 10 m-Meßpunktabstand vermessen; schließlich wurde 1962 das Profil f nachgeholt. Die Geländeoberfläche im Profilbereich wurde einnivelliert und das Nivellement auf NN bezogen.

<sup>16)</sup> H. v. Petrikovits, Xanten (vgl. Anm. 14) 138 f.



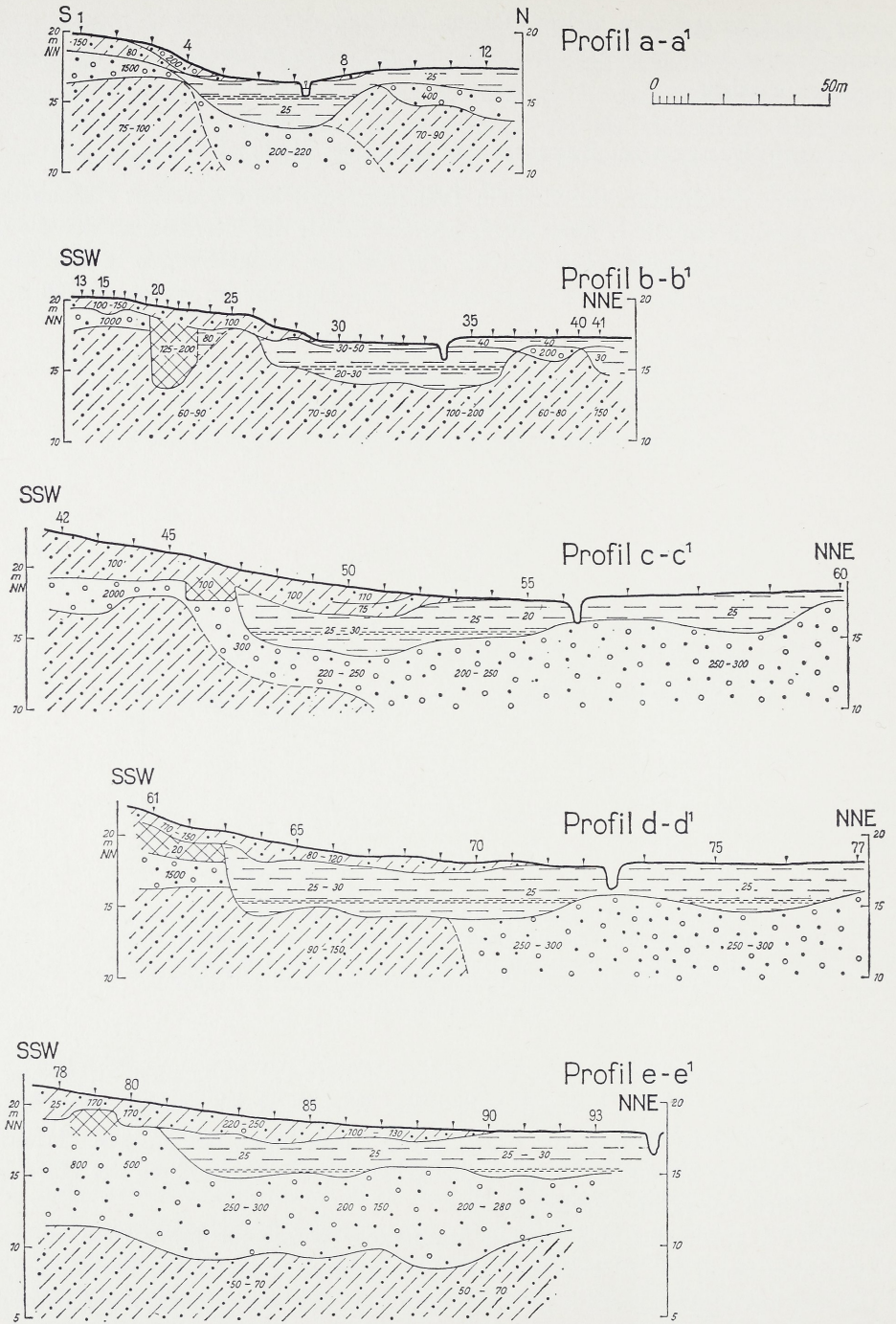


Abb. 16. Vertikalschnitte a-e aus dem Pistley-Tal bei Xanten, gewonnen aus Ergebnissen geoelektrischer Tiefensondierungen (4-fach überhöht).



Einige charakteristische Sondierungskurven aus den verschiedenen Teilen des Profils b sind in Abbildung 15 zusammengestellt, und zwar stammen S 14 aus dem Terrassenbereich innerhalb des Stadtgebietes, S 22 offenbar aus der Stadtmauerzone, S 26 aus dem Bereich zwischen Stadtmauer und Hafen, schließlich S 27 und 30 aus der Zone des verlandeten Hafenbeckens. Die starke Änderung des Kurventyps im Verlauf des Profils wird deutlich. Vor allem kommt klar heraus, wie stark die trockenen kiesigen Ablagerungen der Terrasse mit hohen spezifischen Widerständen einerseits und die schlickig-tonigen Sedimente des verlandeten Hafenbeckens mit niedrigen spezifischen Widerständen andererseits die Meßkurven prägen. Die Auswertung ist zusammen mit der archäologisch-geologischen Deutung über den Meßkurven in Form von Säulenprofilen dargestellt; dabei ist der Tiefenmaßstab logarithmisch unterteilt.

Das Auswertungsergebnis aller Meßkurven der Profile a–e wurde in Form von Vertikalschnitten mit 4-facher Überhöhung in Abbildung 16 dargestellt. Danach ergibt sich folgendes Bild:

Profil a zeigt im Untergrund des Pistley-Tales eine etwa 30 m breite Rinne, die zur Mitte eingetieft ist und nach SW zum Terrassenrand ihre natürliche Begrenzung findet. Die durch niedrige spezifische Widerstände angezeigten schluffig-tonigen Sedimente werden nach Nordosten geringmächtiger und verlieren an Tiefe. Im Untergrund befinden sich im Bereich der Terrasse Ablagerungen mit spezifischen Widerständen um 75–150 Ohm.m, bei denen es sich um Kies-Sande mit einem nicht geringen Tonanteil handeln dürfte. Weiter nordöstlich dürften unter der tonigen Beckenfüllung auch saubere Kies-Sande abgelagert sein.

Profil b liegt ebenfalls im Pistley-Tal, schließt jedoch mit ein paar Messungen an die Mauerzone der Colonia an. Im Bereich der Sondierungen 20–23 dürfte demnach die Stadtmauer gelegen haben, die nach Norden nicht unmittelbar an das Hafenbecken bzw. das Kanalbett abgrenzte. Das Kanalbett hätte hier bei geringem Wasserstand eine Ausdehnung von 45 m, bei hohem Wasserstand eine solche von 65 m. Im Liegenden des Beckens sind Sedimente im Widerstandsbereich von 60–100 Ohm.m, teilweise über 150 Ohm.m zu finden. In den weiteren Profilen herrschen bis auf Profil f im Untergrund Ablagerungen mit hohen spezifischen Widerständen vor, die mit Sicherheit als reine Kies-Sande zu deuten sind.

Profil c wurde etwa an der Stelle angesetzt, an der der Hafenkai festgestellt worden ist. Während man bei Sondierung 46 wohl die Stadtmauer zu suchen hat, setzt bei Sondierungsstelle 47 mit einem steilen Abfall vermutlich das Hafenbecken an. Dieses dürfte an dieser Stelle bei mittlerem Wasserstand ebenfalls etwa 45 m breit gewesen sein, hat aber nach Nordosten nur eine schwach ansteigende Basisfläche, die durch den Verlandungsschlick verdeckt ist. Diese Schicht aus Ton-Schlick scheint erst 150 m von der Kaimauer auszustreichen.

Die Hafenkai-Oberkante wurde bei den Ausgrabungen in einer Höhe von NN + 16,20 m bis 16,50 m gefunden, woraus auf einen mittleren Wasserstand von NN + 15,30 m geschlossen wurde<sup>17</sup>. Daraus ergibt sich an Hand des Profils c eine mittlere Wassertiefe von etwas weniger als 2 m, was zu keinem Widerspruch führt. Im Profil b ergeben sich etwa 1,5 m mittlere Wassertiefe, bei Profil a etwas mehr als 2 m, wenn man bis zum Profil a kein merkbares Gefälle bzw. bis zur Rheinmündung nur 30 cm

<sup>17</sup>) H. v. Petrikovits, Xanten (vgl. Anm. 14) 154.



Gefälle annimmt, wie es H. Scheller<sup>18</sup> getan hat. In Abbildung 16 ist der bei NN + 15,30 errechnete mittlere Wasserstand der römischen Zeit durch eine Doppellinie vermerkt.

Bei Profil d dürfte – ähnlich wie bei Profil c – auch eine steile Uferböschung vor der Stadtmauer gelegen haben. Die Stadtmauer ist etwa zwischen Sondierungen 62 und 63 zu suchen. Die Verlandungsschicht ist hier besonders mächtig und greift weit nach Nordosten vor, so daß durch Messung 77 der nordöstliche Verlandungsrand noch nicht erreicht wurde. Das Becken müßte relativ flach und breit gewesen sein und an dieser Stelle bei einem mittleren Wasserstand eine Tiefe von nur 1 m und eine Ausdehnung von fast 90 m gehabt haben. Es ist anzunehmen, daß dieses Gebiet nur bei höherem Wasserstand für die Schifffahrt genutzt worden ist.

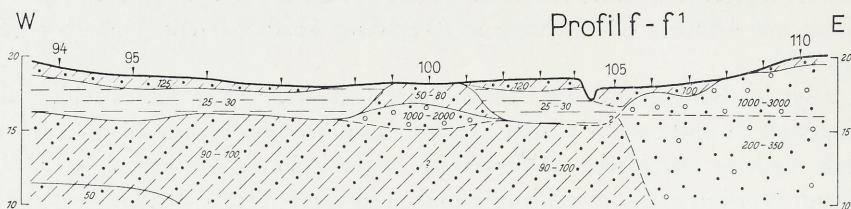


Abb. 17. Vertikalschnitt f aus dem Pistley-Tal bei Xanten, gewonnen aus Ergebnissen geoelektrischer Tiefensondierungen (4-fach überhöht).

Bei Profil e fällt das Tiefste der schluffigen Beckenfüllung mit der Höhe des mittleren Wasserstandes zusammen. Dieses Profil ist insofern interessant, als an dieser Stelle ein archäologischer Schnitt ausgeführt wurde, der vom Amphitheater kommend 80 m lang bis zur Meßstelle 82 ins Becken hineinführte<sup>19</sup>. Die Korrellierung der geophysikalischen Beobachtungen mit den archäologischen Befunden läßt sich zwanglos durchführen. So wurde z. B. im Bereich der Meßstelle 79 durch eine Verringerung der Deckschichtmächtigkeit die Mauerzone angezeigt. Der tonige Schluff setzte genau an der Stelle ein, wo er geoelektrisch erkannt wurde und erreichte auch die im Profil angegebene Mächtigkeit.

Das Profil e erhärtet die von H. v. Petrikovits<sup>20</sup> und von H. Scheller<sup>21</sup> aufgestellte Theorie, wonach eine Verbindung des antiken Hafenbeckens nach Südosten zum Rhein nicht bestanden haben dürfte. Wenn man aus topographischen Gründen die Möglichkeit ausschließt, daß nach Nordosten eine Verbindung zum Rhein bestanden hat, so bleibt nur die Verbindung zum Rhein nach Nordwesten oder Norden übrig. Eine gute Vorstellung von der Füllung des antiken Hafenbeckens vermittelt der Lageplan Abbildung 11, wenn man die Basis der Schlickschicht betrachtet. Diese ist in einem Tiefenlinienplan dargestellt, dessen Nullniveau auf den errechneten antiken mittleren Wasserstand gelegt worden ist. Die Tiefenlinien ergeben sich durch Interpolation aus den einzelnen Profilen.

Zur Abrundung des Bildes und zur Kontrolle wurde im Pistley-Tal nach Süden noch das Profil f angesetzt (Abbildung 17). Hier zeigte sich lediglich ein flacher Überflu-

<sup>18</sup>) H. Scheller, Die Entstehung der Bislicher Insel, in: Bonner Jahrb. 160, 1960, 290.

<sup>19</sup>) Unveröffentlichter Bericht über Schnitt III im Bereich der Colonia Traiana aus dem Jahre 1934, zur Verfügung gestellt vom Rheinischen Landesmuseum Bonn.

<sup>20</sup>) H. v. Petrikovits, Xanten (vgl. Anm. 14) 155.

<sup>21</sup>) H. Scheller a. a. O. (vgl. Anm. 18).



tungshorizont von maximal 3 m Mächtigkeit, dessen Basis kaum bis auf 16 m NN herunterreicht. Nach Osten erstreckt er sich bis zur Pistley und kann dort teilweise in jüngerer Zeit weggeräumt worden sein. Die westliche Begrenzung des schluffigen Verlandungshorizontes wurde nicht erfaßt, da eine Verlängerung des Profils weiter nach W aus Bebauungsgründen nicht vorgenommen werden konnte.

#### 4. Zusammenfassung

Die vorliegende Mitteilung über die Ergebnisse der geoelektrischen Versuchsmessungen und der ergänzenden Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung im Bereich der Colonia Traiana bei Xanten in den Jahren 1958–1962 gibt Veranlassung, an dieser Stelle auf die Grundlagen der geoelektrischen Widerstandsmethoden einzugehen. Dies geschieht soweit, als es zum Verständnis ihrer Anwendung auf archäologische Probleme notwendig erscheint. Insbesondere werden die unterschiedliche Arbeitsweise der geoelektrischen Kartierung und der Tiefensondierung herausgestellt und Wege zur Deutung von Sondierungskurven aufgezeigt.