PRAKLA-SEISMOS GMBH

Geoelektrische Messungen
Feldarbeit – Auswertung

Geoelektrische Messungen
Feldarbeit — Auswertung

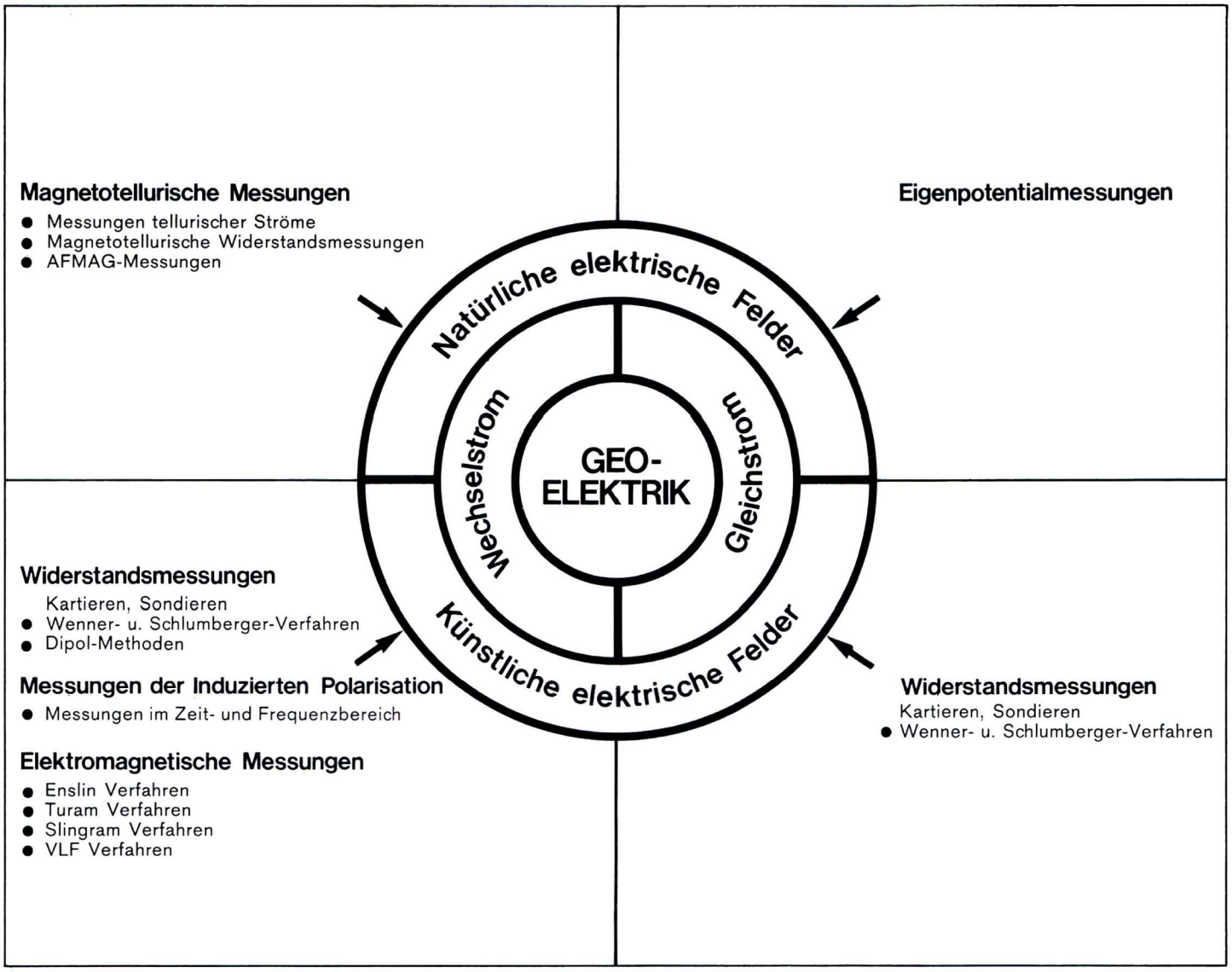
	Seite
Prinzip	3
Anwendungsmöglichkeiten und Meßverfahren	4
Widerstandsmessungen	5
Eigenpotentialmessungen	8
Elektromagnetische Messungen	9
Messungen der Induzierten Polarisation	10

Titelseite: Geoelektrische Messungen im Feld
Kartierung wasserführender Horizonte mittels Gleichstromsondierung

Rückseite: Messungen in Haiti

Die Geoelektrik gehört zu den ältesten Verfahren der Geophysik. Sie wird von der PRAKLA-SEISMOS GMBH seit Jahrzehnten erfolgreich für die Bewältigung oberflächennaher Probleme bis zu einer Tiefe von ca. 1000 m angewandt.

An die stürmische Entwicklung der letzten Jahre auf den Gebieten der Meßtechnik und der Datenverarbeitung, die das Angebot an geoelektrischen Verfahren vervielfachte, hat sich die PRAKLA-SEISMOS GMBH durch die Weiterentwicklung und den Ankauf modernster Geräte angepaßt.



Die elektrischen Verfahren basieren auf der Messung der unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften der verschiedenen im Untergrund vorhandenen geologischen Schichten. Die durch sie an der Erdoberfläche erhaltene geoelektrische Meßinformation hängt von vielen Parametern ab:

- Geologischer Aufbau (Mächtigkeit und Ausdehnung von Schichten, Gängen und Störungssystemen . . .)
- Ionische Leitfähigkeit (beeinflußt durch physikalische und chemische Parameter wie Porosität, Porenfüllung, Korngröße, Polarisationseffekte, Überspannung, Oxydation, Reduktion, Salzgehalt, Temperatur, hydrostatischer Porendruck . . .)
- Elektronische Leitfähigkeit (Gehalt an elektronisch leitenden Stoffen, ihre Verteilung, Mineralisation . . .)

Aus der Vielzahl der genannten Parameter resultiert das reichhaltige **Anwendungsspektrum** der elektrischen Verfahren:

- Erkundung des Schichtenaufbaus für die Wassererschließung
  - Kartierung von Grundwasserleitern
  - Aufsuchen von Mineral- und Thermalwässern
  - Ermittlung der Süßwasser-Salzwassergrenze
- Prospektion von Sand- und Kieslagerstätten
  - Bestimmung ihrer Ausdehnung und Mächtigkeit
  - Abschätzung der Materialbeschaffenheit
- Untersuchungen von Tonvorkommen
- Aufsuchen und Kartieren von stock- und gangförmigen Erzvorkommen
- Prospektion von Anreicherungen metallisch leitender Erzminerale
  - insbesondere von kompakten und feinverteilten sulfidischen Erzen
- Untersuchung von Hartsteinvorkommen aller Art
  - wie Basalt, Granit, Gabbro . . .
  - Bestimmung der Mächtigkeit von Nutzgestein und Abraum
- Baugrunduntersuchungen
  - Feststellung des Schichtenaufbaus
  - Ermittlung von Hohlräumen und Störungen
  - Feststellung wasserdurchlässiger Schichten beim Dammbau
  - Kartierung von Störungssystemen im Grundgebirge, insbesondere im Stollen- und Talsperrenbau

Zur optimalen Lösung der angesprochenen geologischen Probleme wendet die PRAKLA-SEISMOS GMBH mehrere bewährte **Meßverfahren** einzeln und auch in Kombination an:

- **Widerstandsmessungen**
  - Gleichstrom- und Wechselstromsondierungen
  - Gleichstrom- und Wechselstromkartierungen
- **Eigenpotentialmessungen (SP-Messungen)**
- **Elektromagnetische Messungen**
  - Slingram-Verfahren
  - Turam-Verfahren
  - Enslin-Verfahren
  - VLF-Verfahren
- **Messungen der Induzierten Polarisation (IP-Messungen)**
  - Frequenzverfahren (frequency domain)
  - Zeitverfahren (time domain)
- **Magnetotellurische Messungen**

Zur Ergänzung der elektrischen Methoden bietet die PRAKLA-SEISMOS GMBH unter anderem folgende Verfahren an (entsprechende Broschüren liegen vor!):

- Reflexionsseismik *
- Refraktionsseismik *
- Durchschallungsverfahren
- Magnetische, gravimetrische und radiometrische Messungen
- Aufschlußbohrungen
- Bohrlochmessungen
  (Beispiel für integrierte Bohr- und Meßarbeiten s. S. 7 unten)

* Neuerdings steht eine Fallgewichtsapparatur der PRAKLA-SEISMOS GMBH für oberflächennahe Prospektion (Reflexions- und Refraktionsseismik) zur Verfügung.

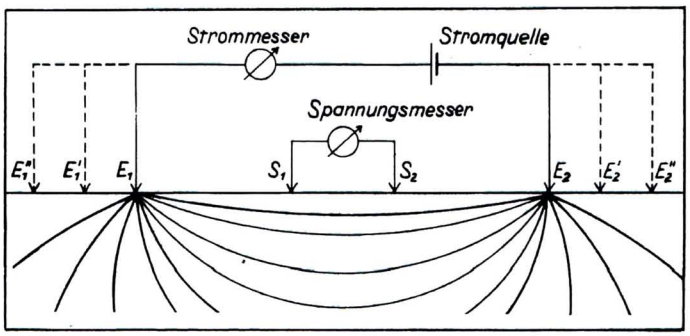
Bohrgerät

Fallgewichtsapparatur

Die **Gleichstromwiderstandsmessungen** sind ein unentbehrliches Hilfsmittel bei der Untersuchung der oberen flach gelagerten Schichten des Untergrundes. Die Kernstücke der Anwendungsgebiete sind:

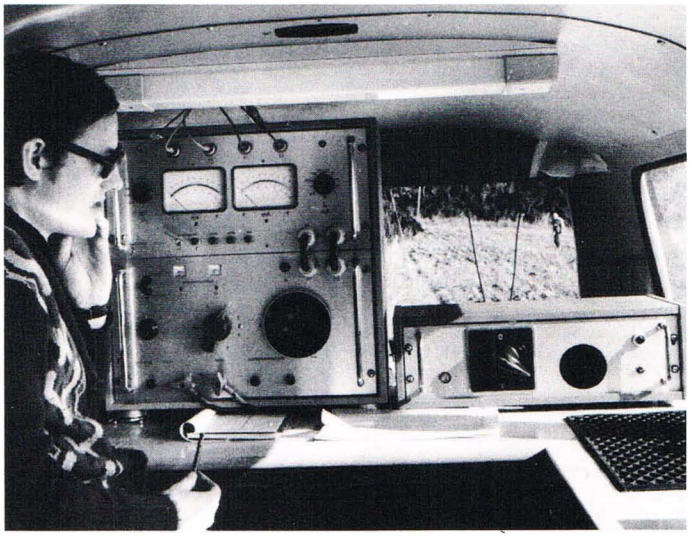
- **Bestimmung der Tiefen und Mächtigkeiten von Schichten** im Bereich junger Sedimente mit raschen Mächtigkeits- und Fazieswechseln.
- Lösung hydrologischer Probleme, wie Grundwassererschließung und Bestimmung des Versalzungsgrades von Wässern.
- Nachweis flachliegender Lagerstätten (Ton, Kies, Kalk, Gips, Basalt, Gabbro, Granit . . .), sowie die Ermittlung ihrer Abraummächtigkeiten.
- Baugrunduntersuchungen.

Bei den Gleichstromwiderstandsmessungen wird dem zu untersuchenden Boden ein elektrisches Feld mit Hilfe zweier Elektroden (E) aufgeprägt, indem man durch sie einen Strom schickt. Mit Hilfe zweier nichtpolarisierbarer Sonden (S), zwischen denen man die Spannung mißt, wird



eine Potentialdifferenz ermittelt. Für jede geometrische Anordnung von Elektroden und Sonden und jede im Untergrund vorhandene Widerstandsverteilung gibt es ein bestimmtes Spannungs-Strom-Verhältnis, den scheinbaren spezifischen Widerstand (ϱ). Durch Variation des Elektrodenabstandes kann die Eindringtiefe des Stromes geän-

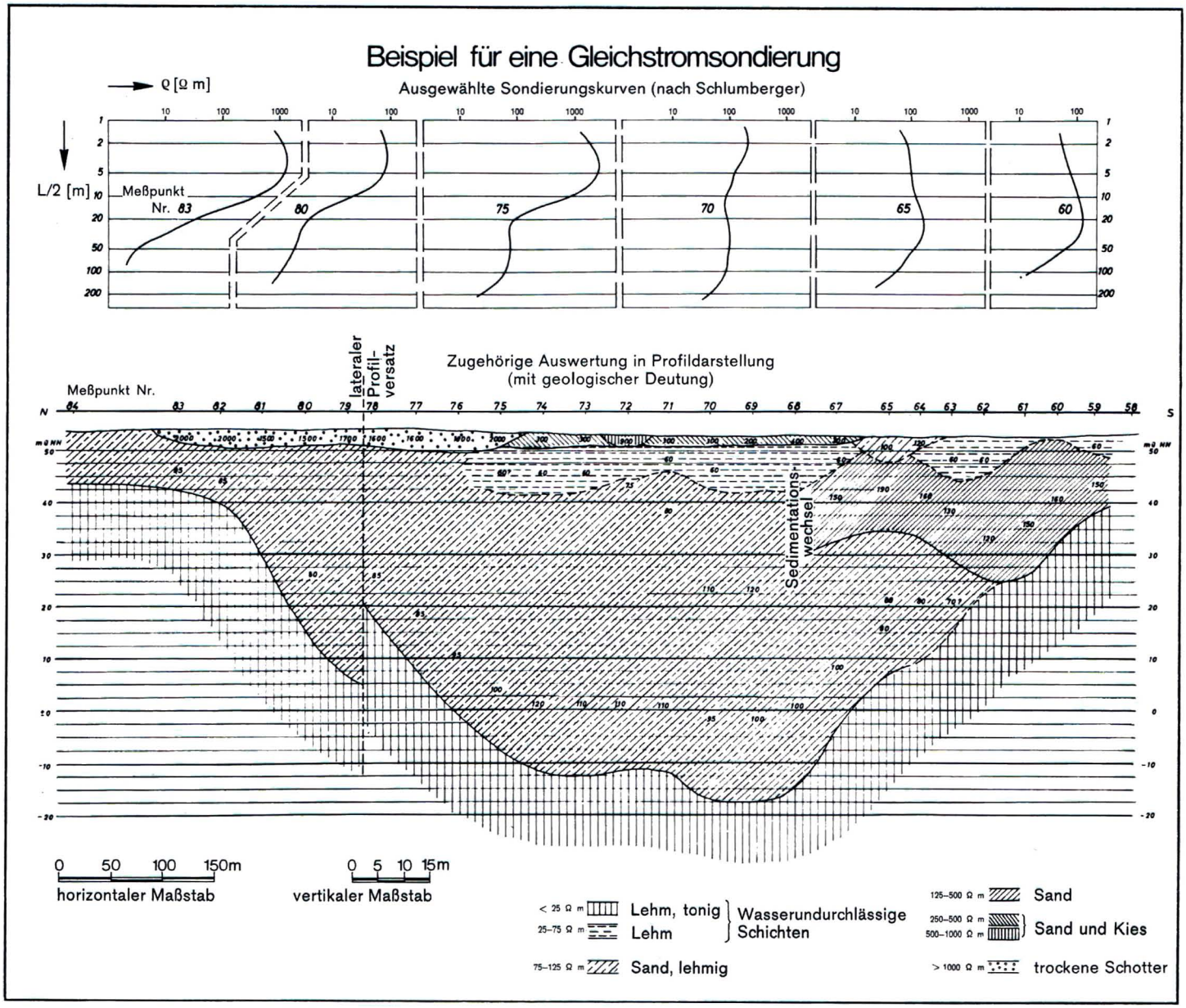
Zubehör für Gleichstrommessungen



Gleichstromapparatur

im VW

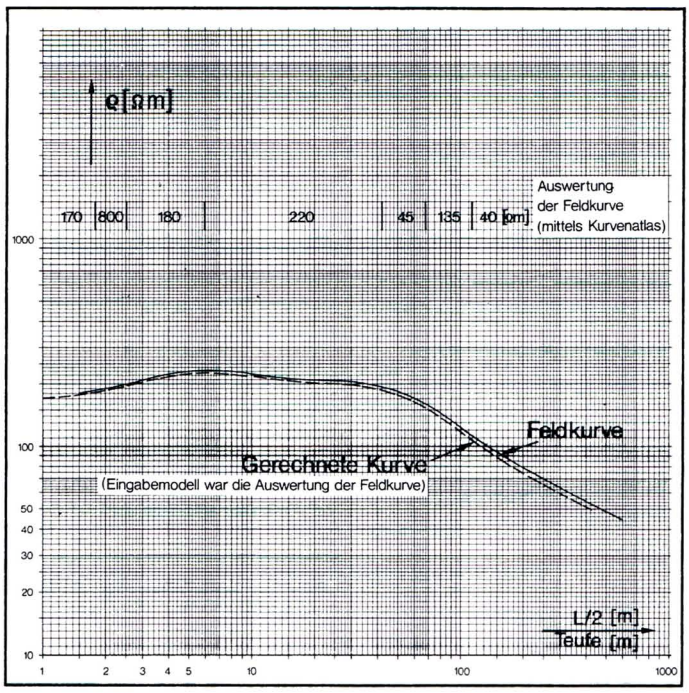
im Landrover



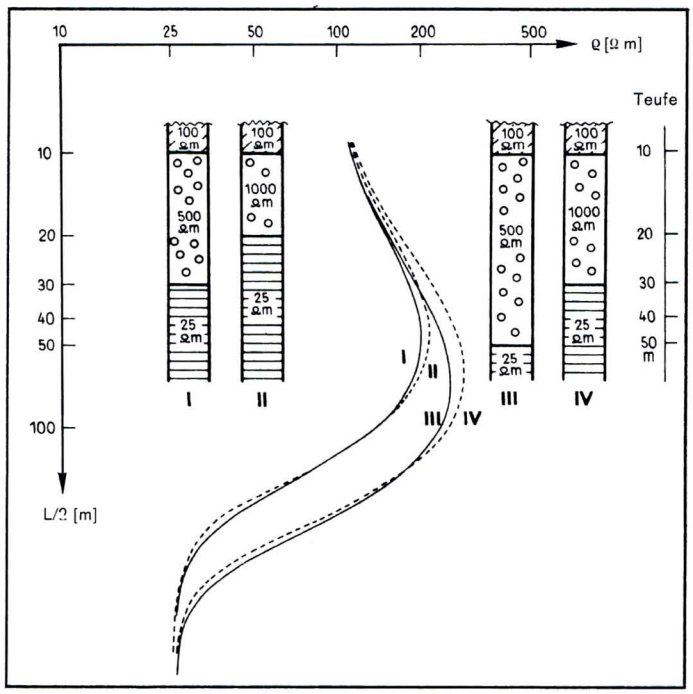
dert und somit eine Tiefenwirkung erzielt werden. Um die Berechnung des scheinbaren spezifischen Widerstandes zu vereinfachen, haben sich bestimmte linienhafte, um einen Punkt symmetrische Elektroden-Sonden-Anordnungen bewährt. Zieht man eine solche Anordnung über dem Symmetriepunkt schrittweise auseinander, so daß man eine immer größer werdende Tiefenwirkung erzielt, spricht man von einer **Gleichstromsondierung.**

Aus den Strom-Spannungsmessungen wird die Änderung des scheinbaren spezifischen Widerstandes ϱ ermittelt. Bei der Schlumberger-Anordnung wird z. B. ϱ über dem halben Elektrodenabstand L/2 aufgetragen. Bei der Auswertung (Bestimmung der Widerstands- und Mächtigkeitsverhältnisse) werden die Feldkurven mit theoretisch berechneten Kurven verglichen. Die theoretischen Kurven sind vom Computer gerechnet und in einem Kurvenatlas für Zwei-, Drei- und verschiedene Mehrschichtfälle zusammengestellt. Kurven für Mehrschichtfälle werden aber normalerweise aus den bestehenden Kurven für Zwei- und Dreischichtfälle entwickelt (mittels Hilfspunktverfahren oder andere Trial-and-Error-Verfahren). Für spezielle Fälle können auch Kurven für Mehrschichtfälle vom Computer gerechnet werden.

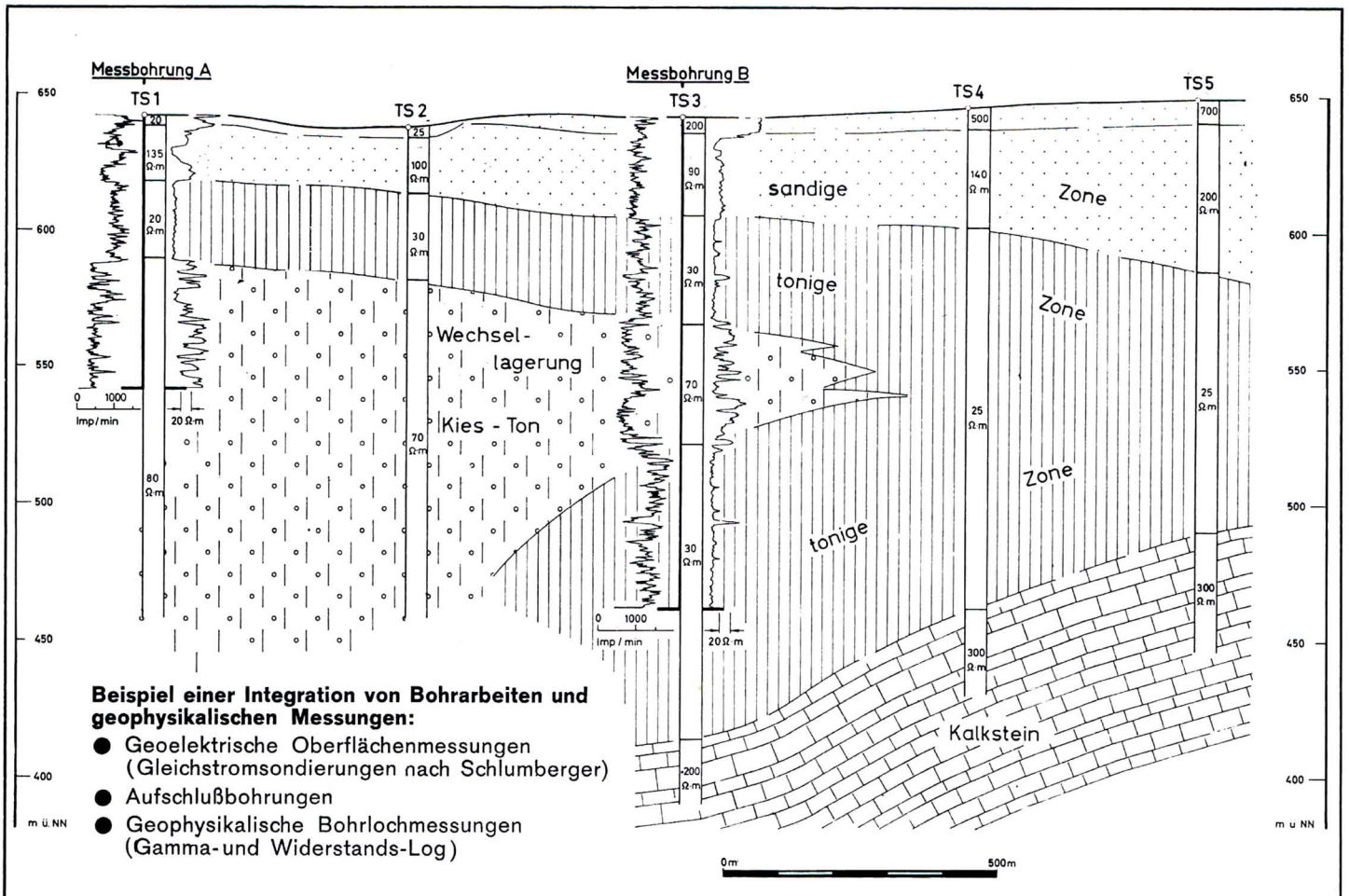
Durch den Vergleich Feldkurve-theoretische Kurve lassen sich die Widerstands- und Mächtigkeitsverhältnisse des Schichtenaufbaus bestimmen. Die geologische Deutung ergibt sich aus Erfahrungswerten oder — sicherer — aus dem Anschluß an einzelne Aufschlußbohrungen. Die Ergebnisse der Einzelsondierungen können in Säulenform dargestellt werden.



Gleichstromsondierung:
Vergleich einer Feldkurve mit einer vom Computer gerechneten Kurve (Die Tiefe der angegebenen Widerstandsschichtgrenzen können an der L/2 Achse in m abgelesen werden).

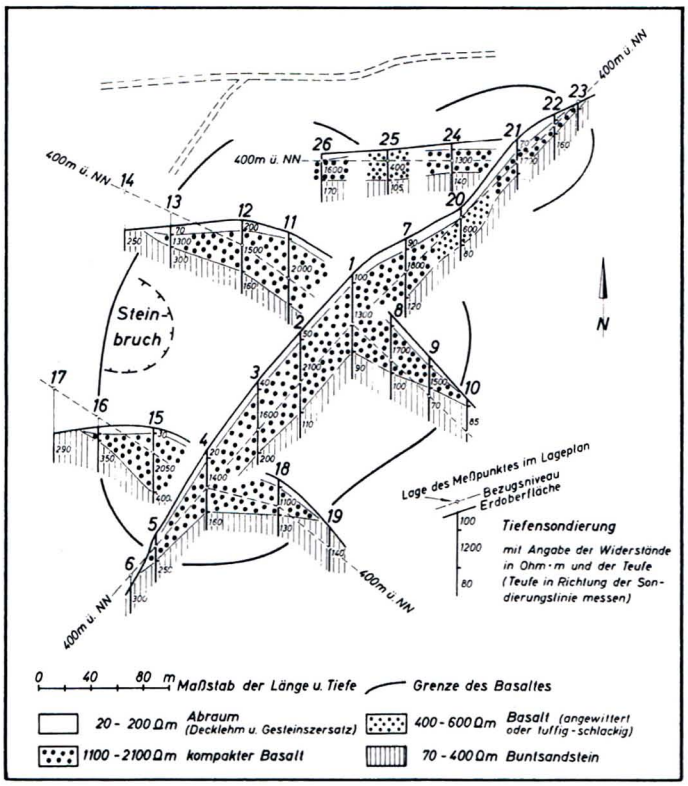


Gleichstromsondierungen:
Auswertung von vier Gleichstromsondierungen und Darstellung in Säulenform

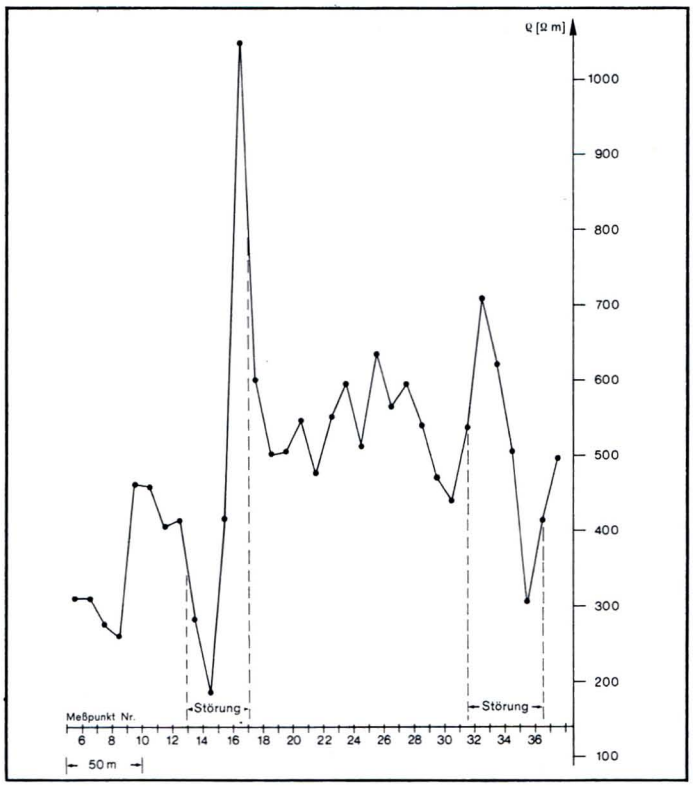


Beispiel einer Integration von Bohrarbeiten und geophysikalischen Messungen:

- Geoelektrische Oberflächenmessungen (Gleichstromsondierungen nach Schlumberger)
- Aufschlußbohrungen
- Geophysikalische Bohrlochmessungen (Gamma- und Widerstands-Log)



Flächenhafte Darstellung der Auswertungen von Gleichstromsondierungen zur Feststellung von Ausdehnung und Mächtigkeit eines Basaltvorkommens



Gleichstromkartierung in Profildarstellung

Werden Sondierungen linienhaft oder flächenhaft verteilt durchgeführt, können die Ergebnisse in Form von Vertikalschnitten oder in Form von Isolinienplänen von Tiefen, Mächtigkeiten und Widerständen dargestellt werden (s. auch Titelbild).

Für großflächige Übersichtsmessungen und andere spezielle Probleme (z. B. Kartieren der Süßwasser-Salzwassergrenze, Verfolgung bestimmter überdeckter Inhomogenitäten) werden häufig **Gleichstromkartierungen** durchgeführt. Der Unterschied zum Sondieren liegt darin, daß hierbei nur ein fester Elektrodenabstand benutzt wird, der der Tiefe des Problems angepaßt ist. Der Vorteil besteht im geringeren Kosten- und Zeitaufwand, wobei allerdings eine geringere Aussagekraft in Kauf genommen werden muß.

Bei den **Wechselstromwiderstandsmessungen,** die bei geophysikalischen Untersuchungen zur Anwendung kommen, handelt es sich ebenfalls um Vierpunktverfahren. Für sie gelten im wesentlichen die gleichen Voraussetzungen wie für die Gleichstromverfahren. Solange die geforderte Aufschlußtiefe gering (nicht wesentlich mehr als 10 m) ist, kann die Auswertung in gleicher Weise durchgeführt werden. Bei größeren Tiefen sind Abweichungen zu erwarten, die verschiedene Ursachen haben. Bei Wechselstrommessungen wird immer die imaginäre Widerstandskomponente (durch Kapazitäten und Induktivitäten) und der Skineffekt (mit steigender Frequenz Verdrängung der Strombahnen an die Erdoberfläche) eine Rolle spielen. Wenn man trotz dieser Komplikationen Wechselstromverfahren verwendet, dann deshalb, weil bei Wechselstrommessungen die Störungen durch Erdströme, vagabundierende Ströme, Rückströme von elektrischen Verkehrsmitteln und Polarisationspotentiale an den Sonden wegfallen.

Eigenpotentialmessungen (SP- oder self potential) eignen sich

- zur Aufsuchung und Kartierung von stock- und gangförmigen, kompakten Erzvorkommen,
- für die Kartierung von Störungssystemen im Grundgebirge, insbesondere bei Voruntersuchungen im Stollen- und Talsperrenbau.

Dabei werden Potentialdifferenzen gemessen, die auf chemischen und elektrochemischen Prozessen sowie auf Strömungsvorgängen beruhen. Eigenpotentiale können z. B. in der Umgebung von Erzlagerstätten entstehen, wenn durch eindringendes Oberflächenwasser Oxydationsvorgänge angeregt werden, die charakteristische elektrische Ströme hervorrufen.

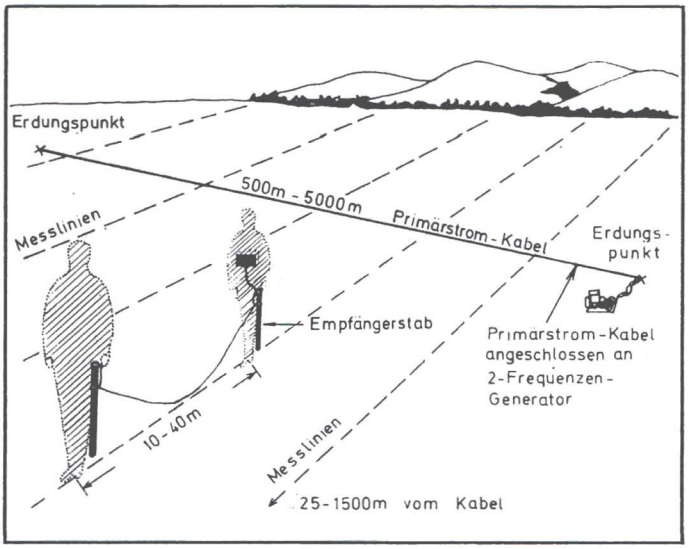
Die Eigenpotentialmessungen lassen sich mit besonders geringem Kostenaufwand durchführen.

Die **elektromagnetischen Aufschlußverfahren** haben sich hauptsächlich bei der Erkundung von Inhomogenitäten im geologischen Aufbau bewährt, z. B.:

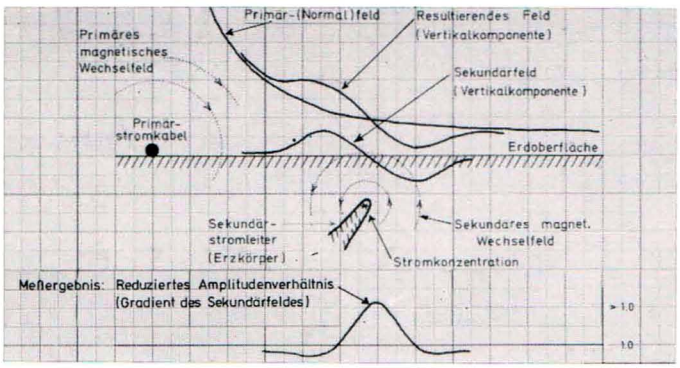
- Suche und Kartierung stock- und gangförmiger Lagerstätten
- Baugrunduntersuchungen für Projekte, bei denen es von entscheidender Bedeutung ist, Störungen im Grundgebirge zu kennen (Stollen-, Tunnel-, Talsperrenbau. . .).

Die elektromagnetischen Verfahren beruhen auf der induktiven Messung des magnetischen Wechselfeldes, das durch einen dem Boden zugeführten Wechselstrom hervorgerufen wird. Die einzelnen zur Zeit angewandten Verfahren unterscheiden sich in der Geometrie von Sende- und Empfangseinrichtung, in der Methode wie sie im Gelände bewegt werden und in der Ankopplung an den Boden. Besonders bewährt haben sich das **Slingram-, Turam-, Enslin- und VLF-Verfahren *.** Für spezielle Probleme ist es natürlich möglich, jede andere gewünschte Sender-Empfänger-Anordnung zu benutzen.

* Über VLF-Verfahren aus der Luft wird auf die PRAKLA-SEISMOS Broschüre „Data Acquisition — Airborne Geophysics" verwiesen.

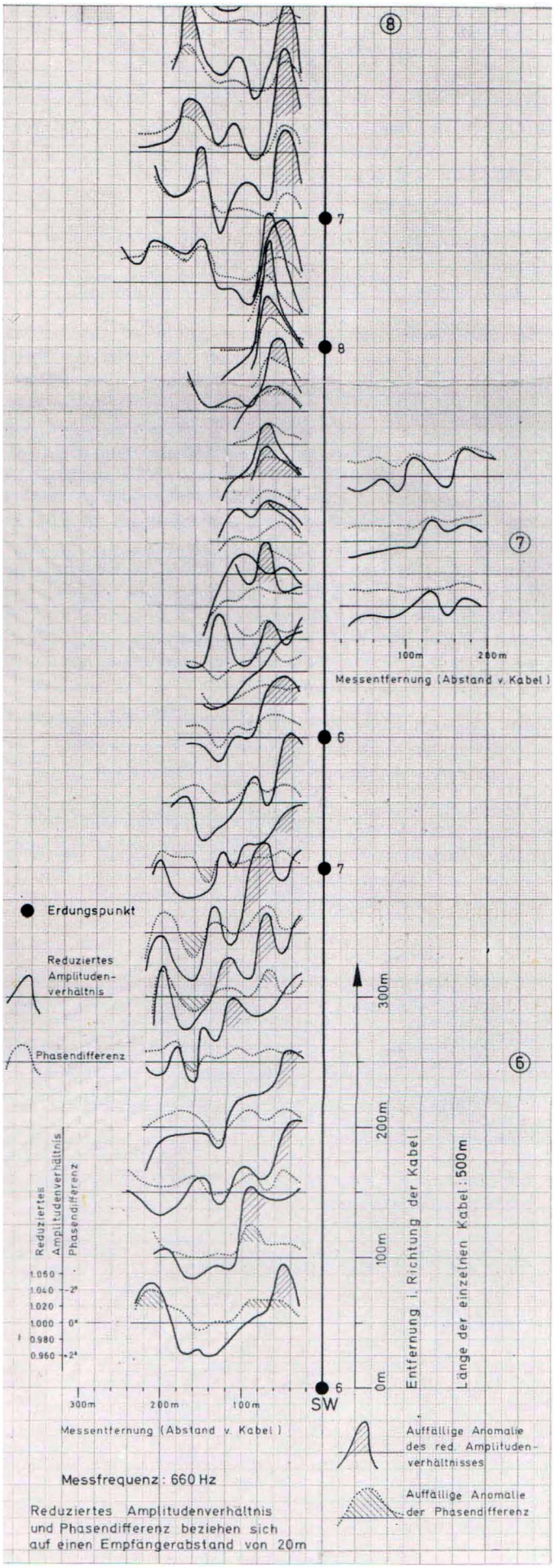


Turam-Verfahren: Meßprinzip



Turam-Verfahren: Verlauf der interessierenden Feldgrößen entlang einer Meßlinie

Turam-Verfahren: Darstellung der Meßergebnisse entlang eines Profils ▶



Die **IP-Messung** ist eine relativ neue Technik in der Geophysik, sie hat seit Mitte der 50-er Jahre stärkere praktische Bedeutung gewonnen.

Anwendungsgebiet ist die

- Exploration auf Anreicherungen metallisch leitender Erzminerale, insbesondere kompakter und feinverteilter sulfidischer Erze,

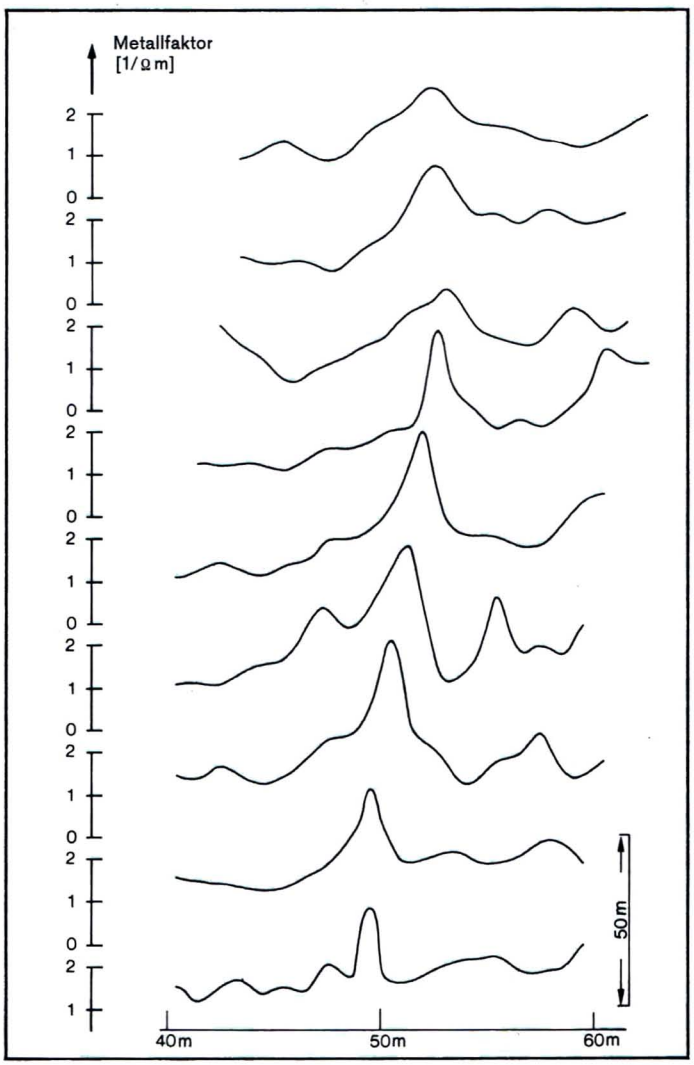
ferner aber auch die

- Feststellung von Salzwasser in Sedimenten
- Unterscheidung von salzwasserführenden und tonigen Sedimenten

Wird über zwei Elektroden eines Dipols ein elektrischer Gleichstrom in den Boden geleitet, baut sich im Untergrund ein künstliches elektrisches Feld auf, dessen Eigenschaften sich an der Erdoberfläche durch eine charakteristische Spannungsverteilung widerspiegeln. Wird der Primärstromfluß schlagartig unterbrochen, so bricht die meßbare Sekundärspannung nicht sofort zusammen, sondern fällt ziemlich langsam, nach einem anfänglich starken Abfall, vom ursprünglichen Gleichstromwert ab. Die Abfallzeit liegt in der Größenordnung von Sekunden oder sogar Minuten. Ähnlich verhält es sich beim Einschalten des Stromes. Es werden nämlich die Ladungen, ähnlich wie beim Aufladen einer Batterie, durch Wechselwirkung zwischen Mineral und Elektrolyt des Nebengesteins getrennt. Dieser Vorgang ist von der Oberflächengröße des Minerals im Elektrolyten abhängig.

Daher hat sich diese Methode sowohl bei kompakten Erzvorkommen als auch bei feinverteilten Erzvorkommen, die anders kaum zu vermessen sind, gut bewährt.

Aus diesem Polarisationsverhalten ergibt sich die Möglichkeit eine Meßinformation zu gewinnen, indem man die abfallende Spannung über einen Empfangs-Dipol als Funktion der Zeit aufnimmt (time domain). Es ergibt sich die scheinbare Polarisierbarkeit.

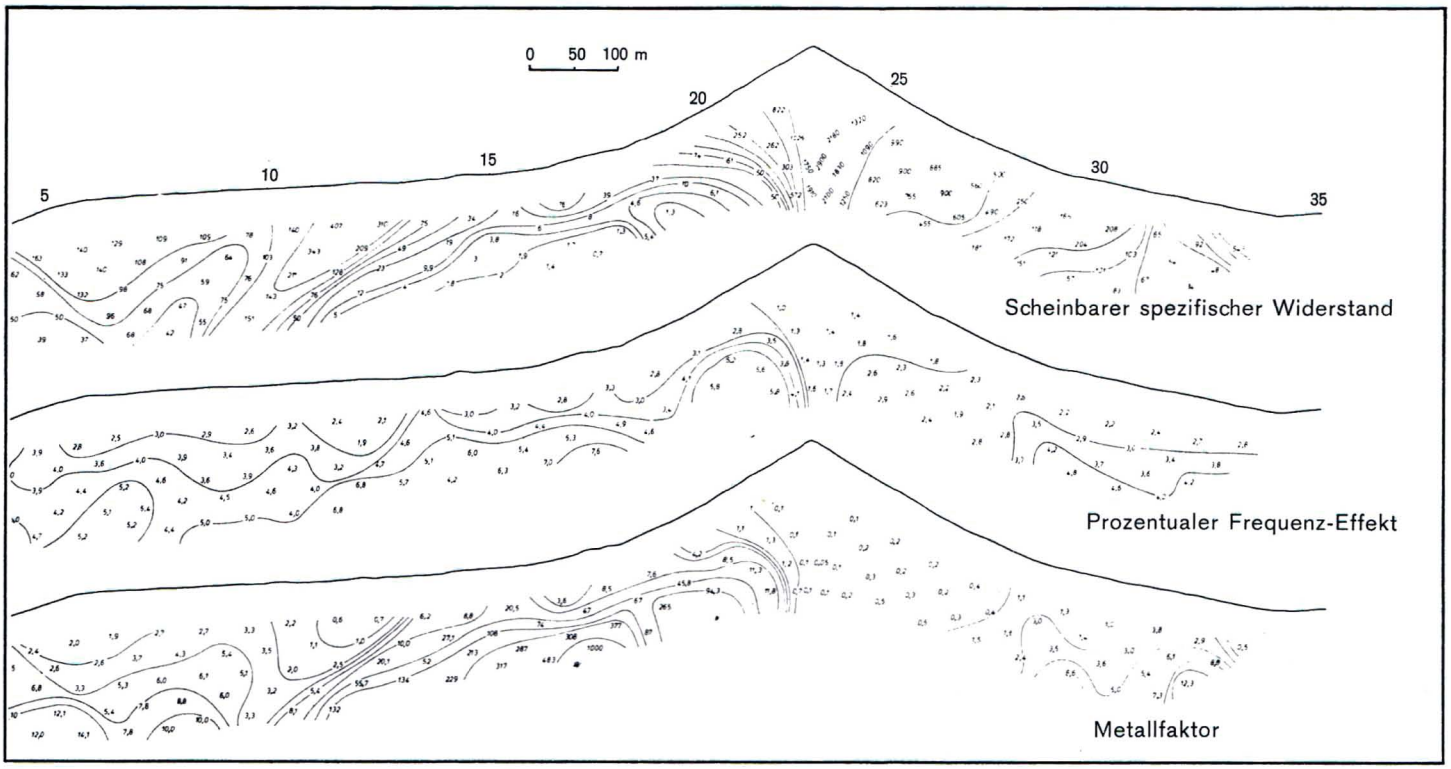


Verfolgung eines überdeckten Barytganges mit Bleiglanzimprägnationen mittels kurzer paralleler IP-Profile

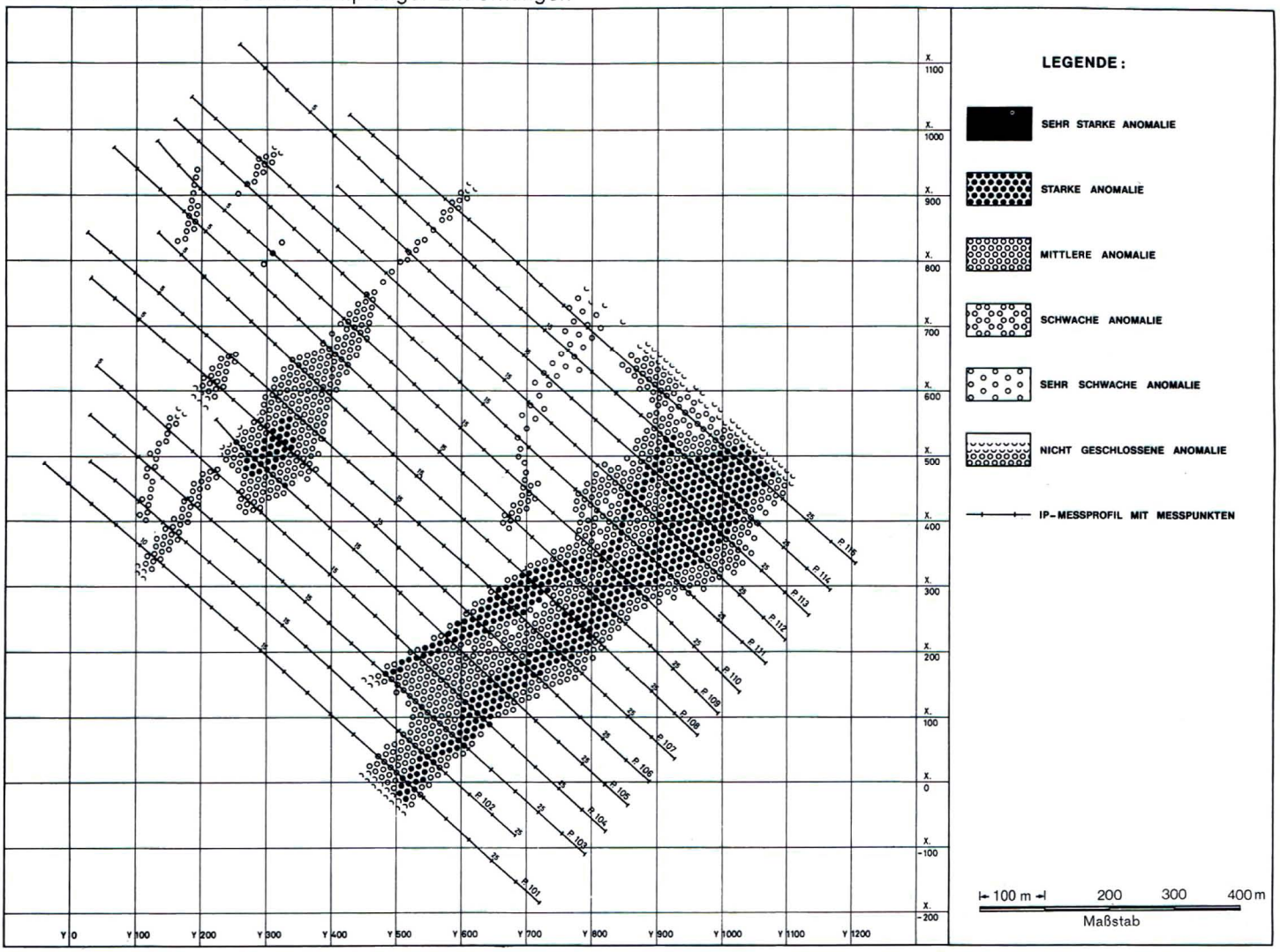
Tragbare IP-Apparatur im Einsatz

Beim Arbeiten im Frequenzbereich (frequency domain) benutzt man statt unterbrochenem Gleichstrom Rechteckströme von zwei (oder mehr) Frequenzen. Da die Aufbau- und Abfallzeiten der Polarisation endlich sind, nimmt der scheinbare spezifische Widerstand mit zunehmender Frequenz ab. Man erhält zwei (oder mehr) verschiedene scheinbare spezifische Widerstände, aus denen der prozentuale Frequenzeffekt und der Metallfaktor abgeleitet werden können.

IP-Messungen erfolgen auf Profilen, wobei durch unterschiedliche Sender-Empfänger-Entfernungen unterschiedliche Eindringtiefen erreicht werden.



IP-Meßergebnisse entlang eines Profils, aufgenommen mit
4–6 unterschiedlichen Sender-Empfänger-Entfernungen



Kartierung sulfidischer Erzvorkommen mit IP-Messungen

PRAKLA-SEISMOS GMBH · HAARSTRASSE 5 · P.O.B. 4767
D 3000 HANNOVER 1
PHONE: 80721 · TELEX: 922847 · CABLE: PRAKLA ● GERMANY

Amsterdam · Ankara · Brisbane · Cairo · Dallas · Jakarta · Lima
London · Madrid · Milan · Rio de Janeiro · Singapore · Tripoli · Vienna

© 30000876