



# Geophysikalische Untersuchungsmethoden

**Dr. Ivo Rappsilber**

Anhand von Prinzipskizzen werden die grundlegenden Funktionsweisen der in Sachsen-Anhalt am häufigsten genutzten geophysikalischen Untersuchungsmethoden erläutert.

Die Geophysik beschäftigt sich allgemein mit den natürlichen physikalischen Zuständen und Vorgängen der Erde. Bei der Angewandten Geophysik werden physikalische Messverfahren aus den Bereichen:

- Schwerkraft
- Magnetismus
- Elektrizität
- Wellenausbreitung
- Strahlung
- Erdbeben

auf die Erde (den Untergrund) zur Erkundung der geologischen Situation angewandt.



# Inhalt:

1. Gravimetrie
  2. Geomagnetik
  3. Seismik
    - a. Reflexionsseismik
    - b. Refraktionsseismik
    - c. Sonar
    - d. Luftschallseismik
  4. Geoelektrik
    - a. Gleichstromgeoelektrik
    - b. Mise-à-la-Masse
    - c. Elektromagnetische Spulenverfahren
    - d. VLF
    - e. Transientelektromagnetik
    - f. Georadar
    - g. Magnetotellurik
    - h. Eigenpotenzialmessung
    - i. Induzierte Polarisierung
  5. Geothermik
  6. Radiometrie
  7. Aerogeophysik
  8. Bohrlochgeophysik
- Literatur

# 1. Gravimetrie

Die Gravimetrie beruht auf dem physikalischen Prinzip der Massenanziehung (Gravitation). Mit Gravimetern (hoch empfindliche Messgeräte, die nach dem Prinzip der Federwaage funktionieren) werden die Veränderungen des Schwerfeldes der Erde aufgrund von Dichteinhomogenitäten im Untergrund aufgenommen. Ziel der angewandten Gravimetrie ist es nun, aus den Schwereanomalien Erkenntnisse über Materialgrenzen und damit über den Bau geologischer Strukturen und das tektonische Störungsinventar abzuleiten.

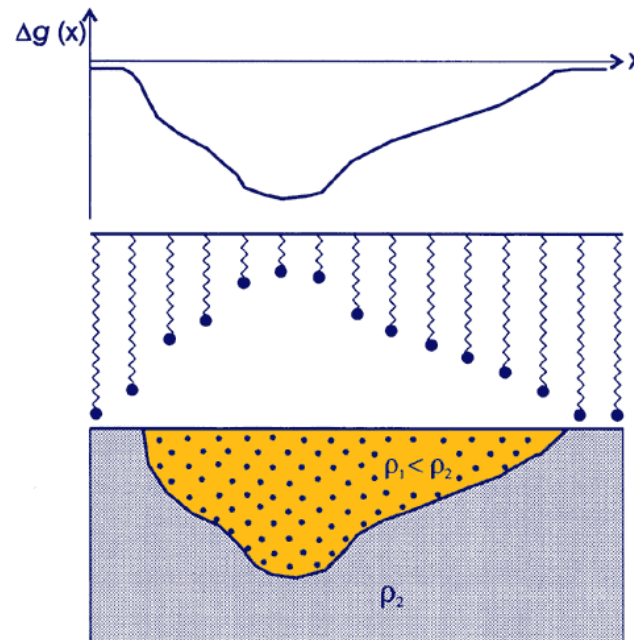


Abbildung: Prinzipskizze gravimetrische Untersuchung,  
aus KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

## 2. Geomagnetik

Bei geomagnetischen Messungen werden Anomalien des natürlichen erdmagnetischen Feldes erfasst. Diese Anomalien entstehen, indem einerseits das natürliche Erdmagnetfeld in geologischen Körpern eine Magnetisierung induziert, die von der Stärke und Richtung des äußeren Feldes aber auch von der Materialeigenschaft des Körpers (Suszeptibilität) abhängig ist. Zusätzlich weisen bestimmte Materialien eine dauerhafte, remanente Magnetisierung auf, die vom äußeren Feld unabhängig ist. Dies betrifft vor allem ferrimagnetische Minerale, wie Eisenoxide und -sulfide. Die angewandte Geomagnetik versucht, aus den gemessenen Anomalien Rückschlüsse auf Magnetisierung, Form, Größe und Tiefenlage der Störkörper zu ziehen.

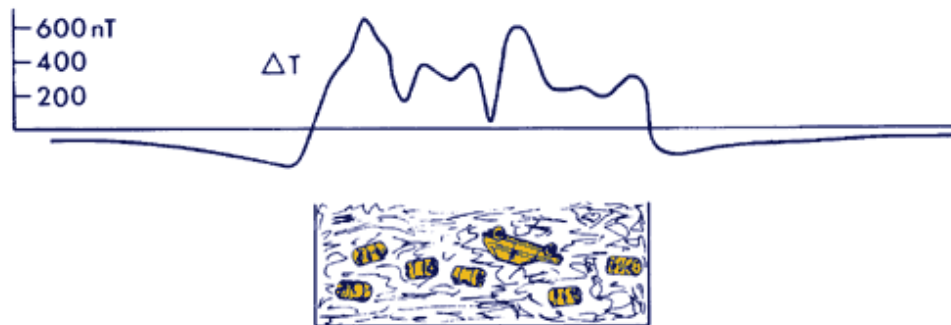


Abbildung: Prinzipskizze Geomagnetik, aus VOGELSANG (1993)

# 3. Seismik

## a. Reflexionsseismik

Die Reflexionsseismik nutzt künstlich an der Erdoberfläche ausgelöste seismische Wellen (z.B. durch Sprengstoff, Hammerschlag, Fallgewicht oder Vibrator). Diese durchlaufen den Untergrund mit einer vom Material abhängigen Geschwindigkeit, werden an Grenzflächen gebrochen, gebeugt und reflektiert und gelangen schließlich wieder zur Erdoberfläche zurück. Dort werden sie aufgezeichnet und erlauben Rückschlüsse auf den Gesteinsaufbau des Untergrundes.

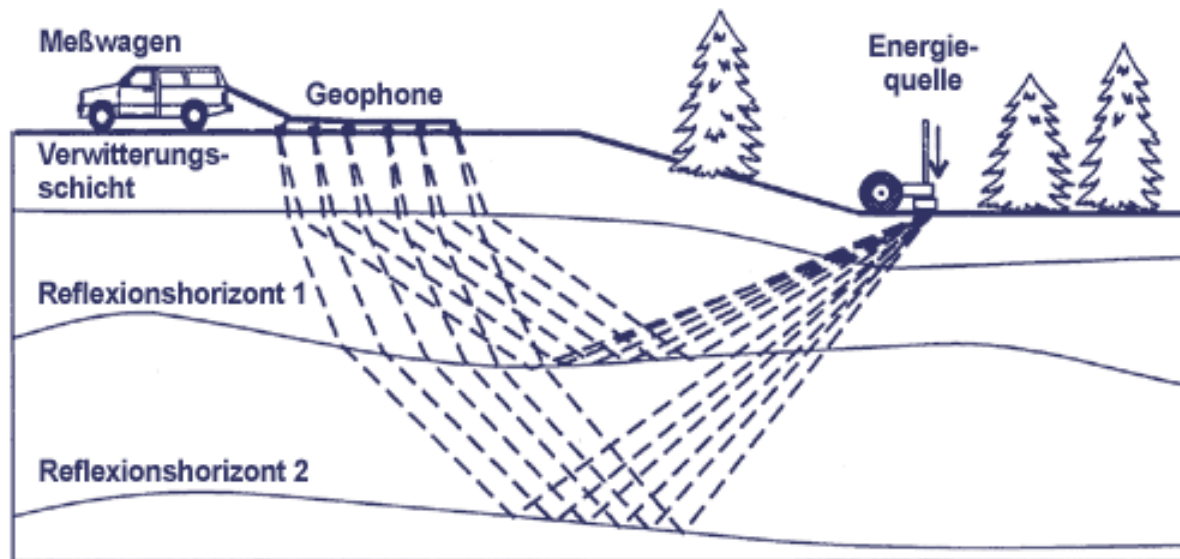


Abbildung: Prinzipskizze Reflexionsseismik,  
aus KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

# 3. Seismik

## b. Refraktionsseismik

Die Refraktionsseismik beruht auf der Auswertung von gebrochenen Wellen, die von einer Quelle ausgesandt in einem kritischen Winkel auf eine Grenzfläche zweier Gesteinsschichten auftreffen, an der Grenzfläche entlanglaufen und wieder zur Erdoberfläche gelangen. Aus den registrierten Laufzeitkurven können Aussagen zur Tiefenlage von Schichtgrenzen abgeleitet werden.

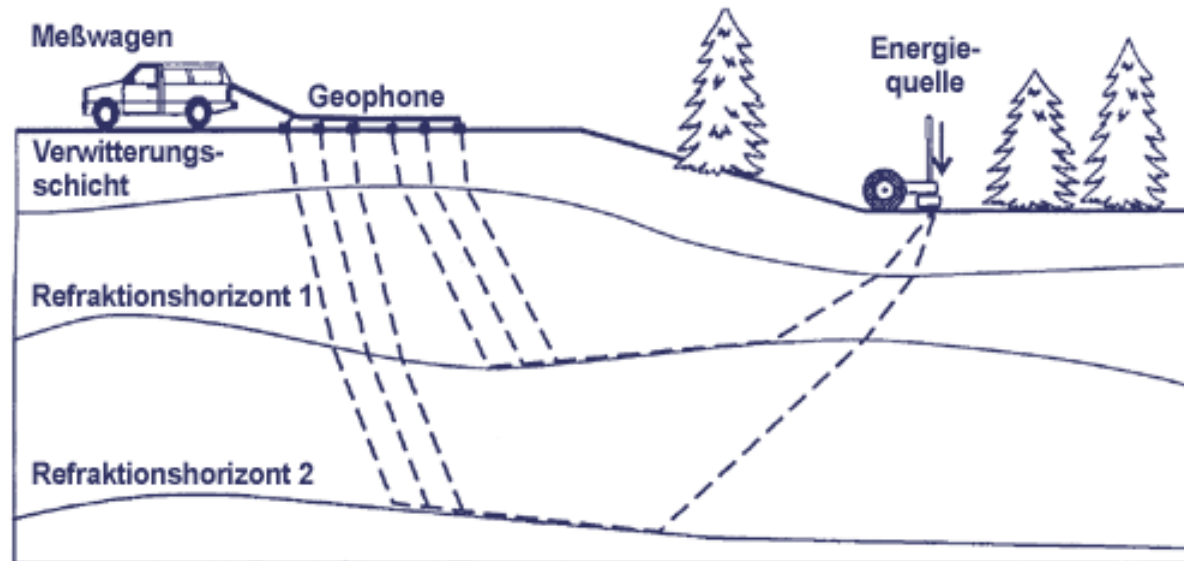


Abbildung: Prinzipskizze Refraktionsseismik,  
aus KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

# 3. Seismik

## c. Sonar

Bei Sonarmessungen (**sound navigation and ranging**, Echolot) werden Ultraschall-Impulse von einem Geber an der Seeoberfläche senkrecht nach unten abgestrahlt. Die entsprechende akustische Welle wird an Schichtgrenzen wie dem Seeboden reflektiert, läuft zurück zur Oberfläche und kann dort vom Empfänger aufgenommen werden. Aus der Laufzeit des Signals wird mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen im Wasser (ca. 1440 m/s) die Wassertiefe ermittelt.

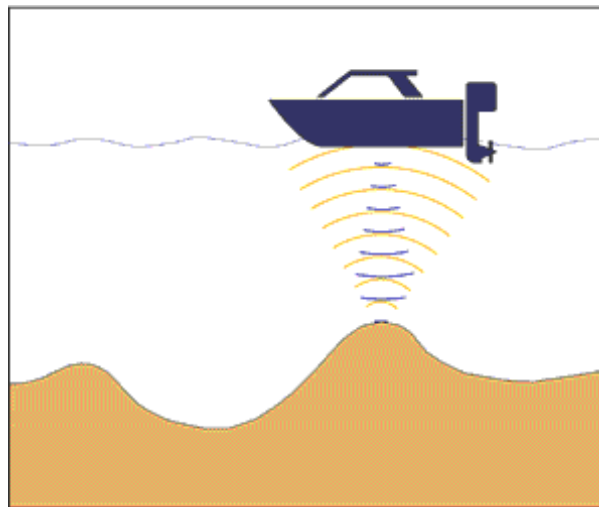


Abbildung: Prinzipskizze Sonar

# 3. Seismik

## d. Luftschallseismik

Bei der Luftschallseismik wird das seismische Signal durch eine Lautsprecherquelle erzeugt. Diese ist in der Lage, definierte Signale mit Frequenzen zwischen 50 und 100 Hz abzustrahlen, die an die Übertragungseigenschaften des Untergrundes angepasst werden können. Dieses Verfahren dient zur Erkundung oberflächennaher Strukturen.

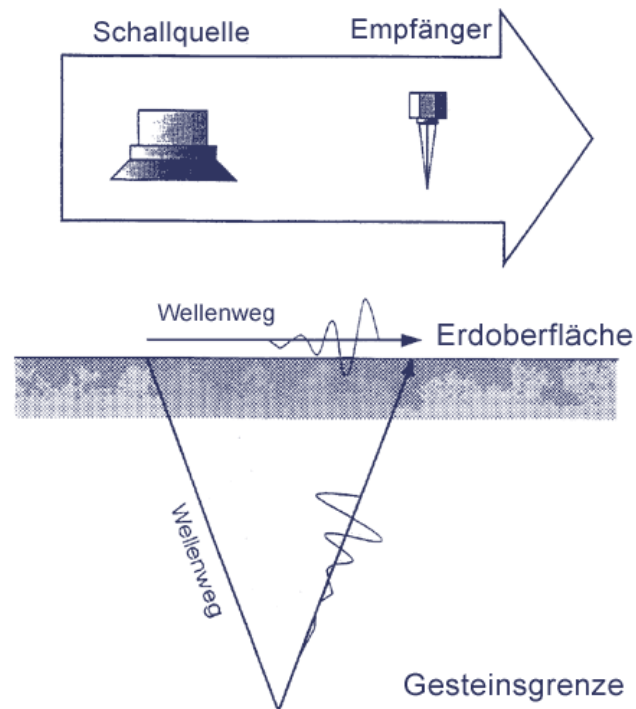


Abbildung: Prinzipskizze Luftschallseismik, aus VOGELSANG (1993)



# 4. Geoelektrik

## a. Gleichstromgeoelektrik

Bei der Gleichstromgeoelektrik wird über zwei geerdete Elektroden Strom in den Untergrund eingespeist, in dessen Folge sich ein Potenzialfeld aufbaut. Über weitere Elektroden wird der Potenzialverlauf, der von den Leitfähigkeitsstrukturen im Untergrund bestimmt wird, vermessen. Daraus lässt sich die räumliche Verteilung des spezifischen Widerstandes berechnen, die wiederum Rückschlüsse auf die geologische Situation zulässt.

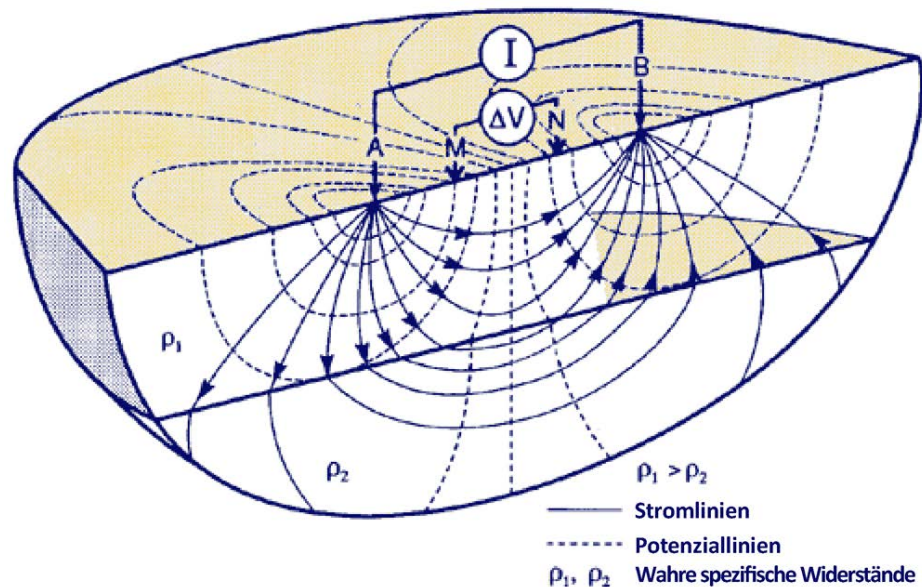


Abbildung: Prinzipskizze Gleichstromgeoelektrik,  
aus KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

# 4. Geoelektrik

## b. Mise-à-la-Masse

Dieses Verfahren wird auch als "Methode des geladenen Körpers" bzw. als "Aufladungsmethode" bezeichnet und ist eine spezielle Form der Gleichstromgeoelektrik. Wenn die Möglichkeit einer direkten Stromeinspeisung in einen leitfähigen Körper (z.B. durch Bohrungen) gegeben ist, bilden sich um diesen Äquipotenzialflächen aus. Der Potenzialverlauf wird an der Oberfläche aufgenommen. Auf diese Weise können Erzkörper abgegrenzt, aber auch Schadstoffausbreitungen kartiert oder Leckagen ermittelt werden.

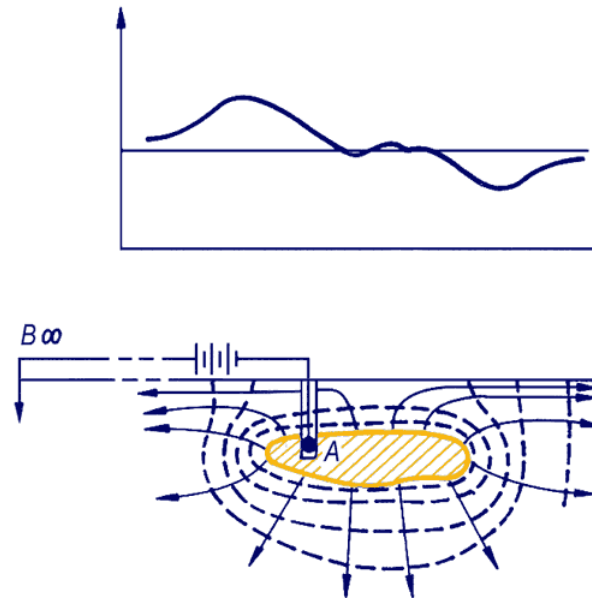


Abbildung: Prinzipskizze Mise-à-la-Masse,  
aus KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

# 4. Geoelektrik

## c. Elektromagnetische Spulenverfahren

Hierbei dienen elektromagnetische Wechselfelder mit Frequenzen im Bereich von 100 bis 10 000 Hz als Energiequelle. Diese rufen aufgrund von Induktionswirkungen in leitfähigen Strukturen des Untergrundes Wirbelstromsysteme hervor, die wiederum ein sekundäres elektromagnetisches Feld erzeugen. Ein aus Primär- und Sekundärfeld resultierendes Gesamtfeld wird registriert und erlaubt Aussagen zu Leitfähigkeiten im Untergrund. Nach der Geometrie der Messanordnung bzw. dem Typ und der Frequenz der Feldquelle eignen sich verschiedene Verfahren für unterschiedliche Aufgabenstellungen.

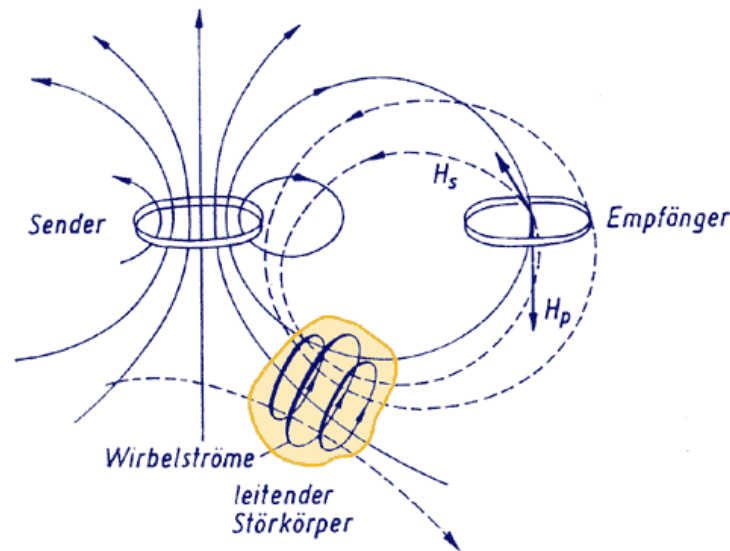


Abbildung: Prinzipskizze elektromagnetische Spulenverfahren,  
aus MILITZER & WEBER (1985)

# 4. Geoelektrik

## d. VLF

VLF steht für Very Low Frequency. Es handelt sich dabei um ein elektromagnetisches Verfahren, das als Quelle elektromagnetische Wellen leistungsstarker Sender ausnutzt, die für die Kommunikation mit U-Booten im Frequenzbereich von 15 bis 25 kHz betrieben werden. Diese für die Kommunikationselektronik sehr niedrigen Frequenzen sind für geophysikalische Verhältnisse recht hochfrequente Signale und erreichen demzufolge eine relativ geringe Eindringtiefe. Die Wellen induzieren in leitfähigen Strukturen des Untergrundes Wirbelströme, die wiederum ein sekundäres elektromagnetisches Feld erzeugen. Ein aus Primär- und Sekundärfeld resultierendes Gesamtfeld wird aufgenommen.

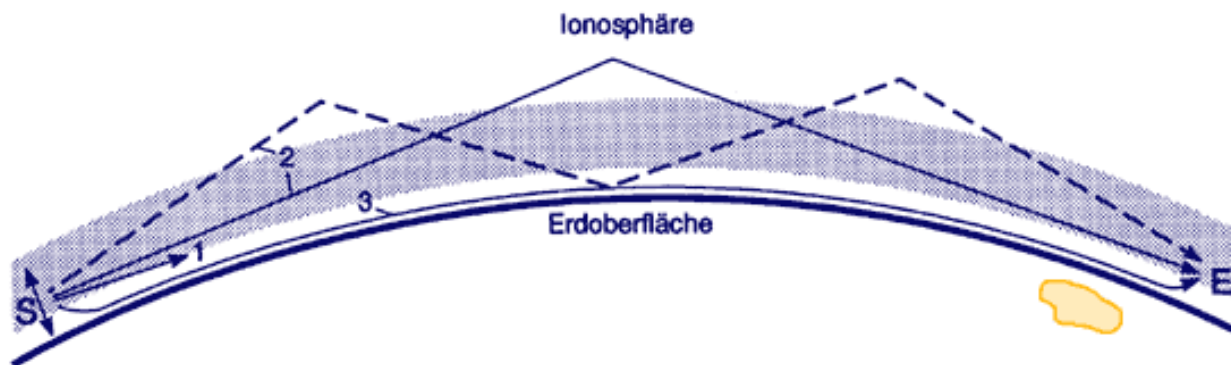


Abbildung: Prinzipskizze VLF-Verfahren,  
aus KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

# 4. Geoelektrik

## e. Transientelektromagnetik

Die Transientelektromagnetik misst den Abklingvorgang eines von einem elektromagnetischen Sender erzeugten Feldes nach dem Abschalten. Im leitfähigen Untergrund werden durch den Abschaltvorgang Stromsysteme erzeugt, die ein Magnetfeld bewirken. Das zeitliche Verhalten des Feldes erlaubt Rückschlüsse auf die Leitfähigkeitsverteilung.

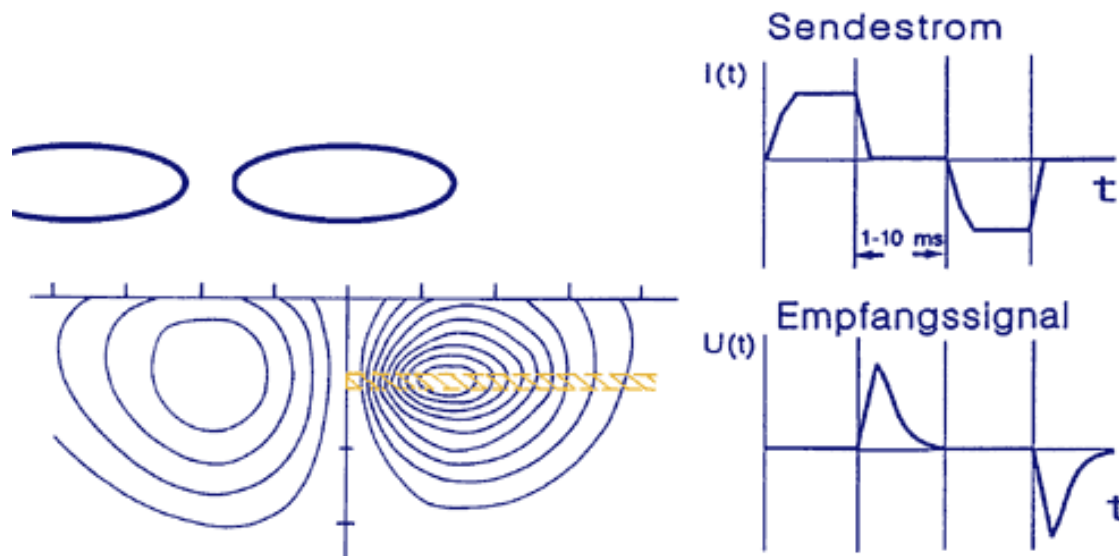


Abbildung: Prinzipskizze Transientelektromagnetik,  
nach BENDER (1985) und KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

# 4. Geoelektrik

## f. Georadar

Mittels einer Sendeantenne werden beim Georadar kurze hochfrequente elektromagnetische Impulse von der Oberfläche in den Untergrund abgestrahlt. Die entsprechende elektromagnetische Welle wird an Schichtgrenzen und Objekten reflektiert bzw. an Einlagerungen gestreut, läuft zurück zur Erdoberfläche und kann dort von einer Empfangsantenne aufgenommen werden.

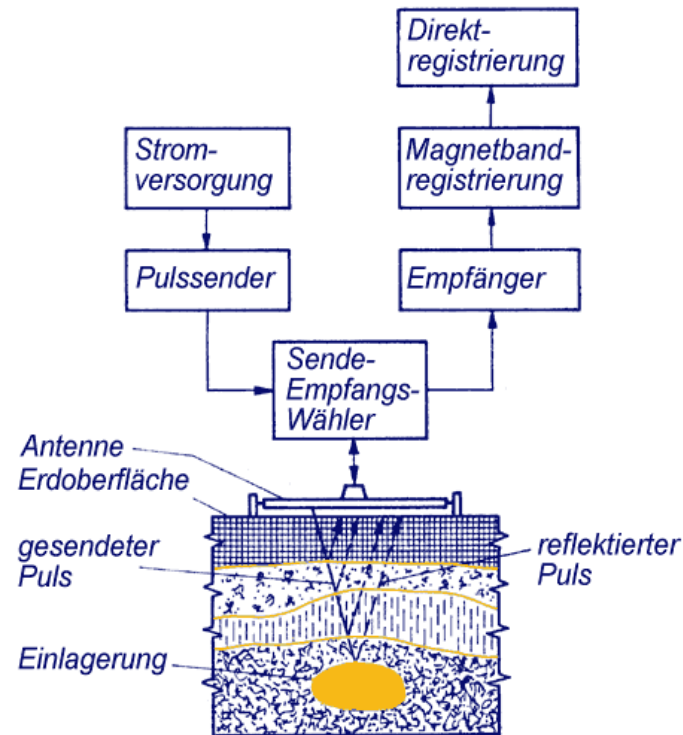


Abbildung: Prinzipskizze Georadar,  
aus MILITZER & WEBER (1985)

# 4. Geoelektrik

## g. Magnetotellurik

Die Magnetotellurik nutzt zur Tiefensondierung natürliche elektromagnetische Wechselfelder unterschiedlicher Frequenzen. Diese Felder gehen auf magnetische Variationen bzw. tellurische elektrische Stromsysteme zurück. Die Wellen dringen in den Untergrund ein und induzieren in leitfähigen Strukturen Stromsysteme, die wiederum elektromagnetische Felder erzeugen. Die Summe der Felder wird gemessen und erlaubt aufgrund des breiten Frequenzbandes der Quellen Aussagen zu Strukturen in Tiefen von einigen 10 m bis hin zur tiefen Erdkruste.

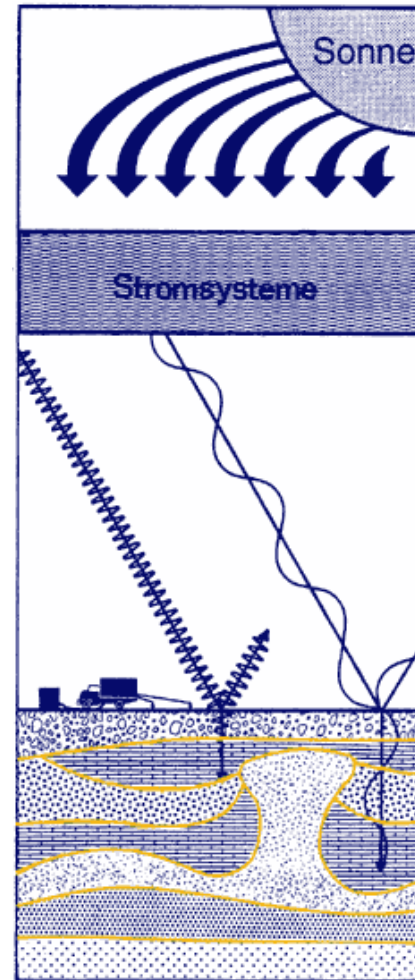


Abbildung: Prinzipskizze Magnetotellurik,  
aus BENDER (1985)

# 4. Geoelektrik

## *h. Eigenpotenzialmessung*

Eigenpotenziale sind natürliche Gleichstromfelder, die im Untergrund durch elektrochemische (Redoxpotenziale, Diffusions- und Membranpotenziale) oder elektrokinetische (Fließ- und Strömungspotenziale) Prozesse entstehen. Die Eigenpotenzialfelder werden mit unpolarisierbaren Elektroden ausgemessen.

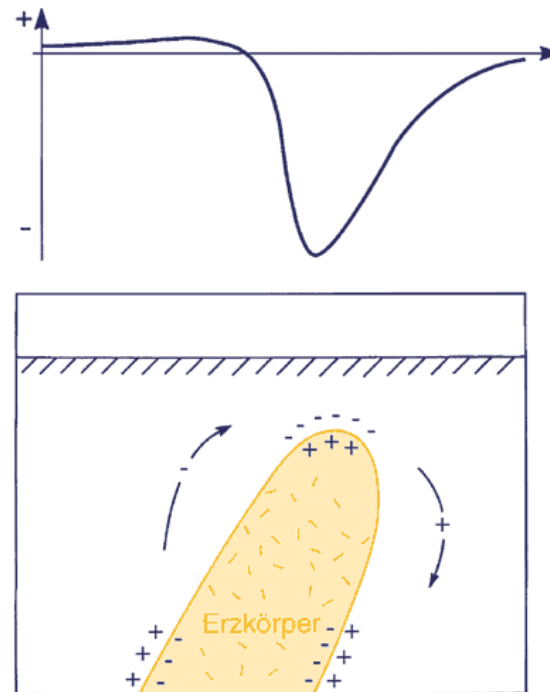


Abbildung: Prinzipskizze Eigenpotenzialmessung,  
nach BENDER (1985) und KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)



# 4. Geoelektrik

## i. Induzierte Polarisation

Die Messungen erfolgen mit den bei der Gleichstromgeoelektrik üblichen Vierpunktanordnungen. Der Stromfluss durch den Untergrund bewirkt, dass sich elektrische Polarisierungen im mikroskopischen Bereich aufbauen: Elektrodenpolarisation und Membranpolarisation. Nach der Unterbrechung des Stromflusses bauen sich die Polarisierungen im Untergrund wieder ab. Gemessen werden entweder das Abklingen der Spannung (Zeitbereichs-IP, Puls-IP) oder die Amplituden der Spannung bei unterschiedlichen Frequenzen (Frequenz-IP).

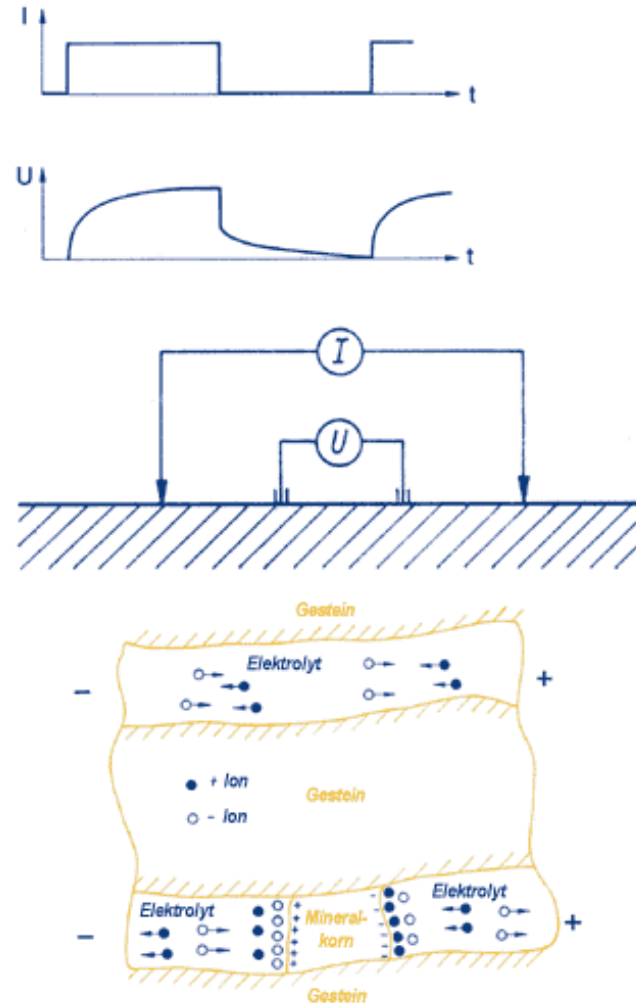


Abbildung: Prinzipskizze Induzierte Polarisation,  
aus MILITZER & WEBER (1985)

# 5. Geothermik

Die geothermische Erkundung beinhaltet oberflächennahe Temperaturmessungen. Es werden Anomalien im Temperaturfeld aufgenommen, die verschiedene Ursachen haben können. Einerseits führen Körper mit anormaler Wärmeleitfähigkeit im Wärmestrom der Erde zu Temperaturanomalien. Andererseits verursachen physiko- und biochemische Prozesse (z.B. in Deponien) und Strömungsprozesse Temperaturdifferenzen. Die Messung erfolgt durch Thermometer, Infrarotsensoren oder faseroptische Verfahren.

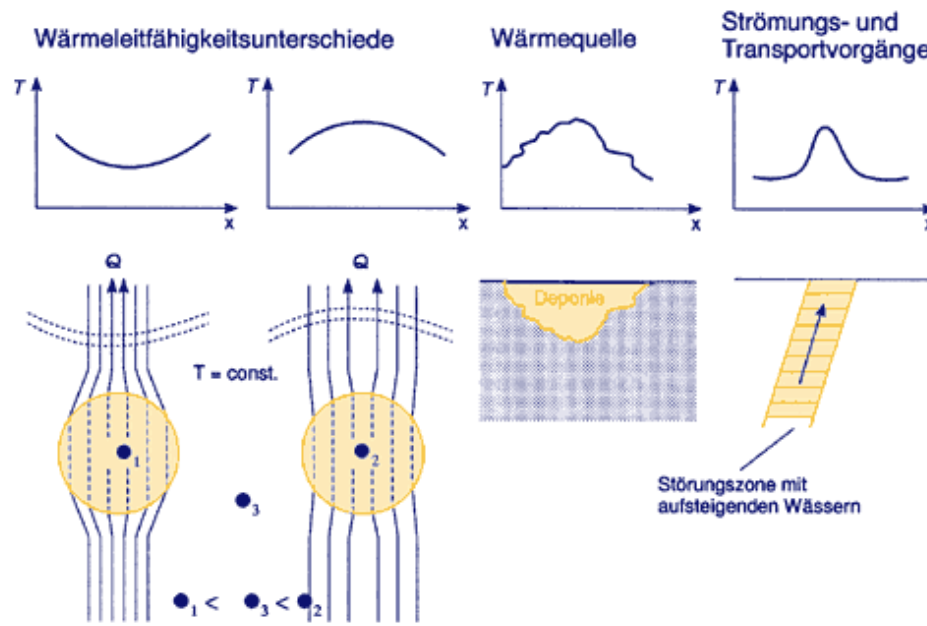


Abbildung: Prinzipskizze Geothermik,  
aus KNÖDEL & KRUMMEL & LANGE (1997)

## 6. Radiometrie

Bei der Radiometrie wird die natürliche Radioaktivität von Gesteinen untersucht. Aus der unterschiedlich starken Radioaktivität verschiedener Materialien lassen sich Aussagen über Gesteinsgrenzen, tektonische Störungen oder das Vorkommen radioaktiver Elemente ableiten. Die beim radioaktiven Zerfall freigesetzte Strahlung wird entweder integral über einen breiten Energiebereich oder spektral in bestimmten Energiefenstern mit Szintillationsdetektoren gemessen. Ein weiteres Verfahren nimmt den Radongehalt der Bodenluft auf. Anreicherungen von Radon als gasförmigem Element der Uranium-Familie deuten auf bevorzugte Aufstiegsbahnen bzw. geodynamische Prozesse hin und dienen damit der Störungssuche.

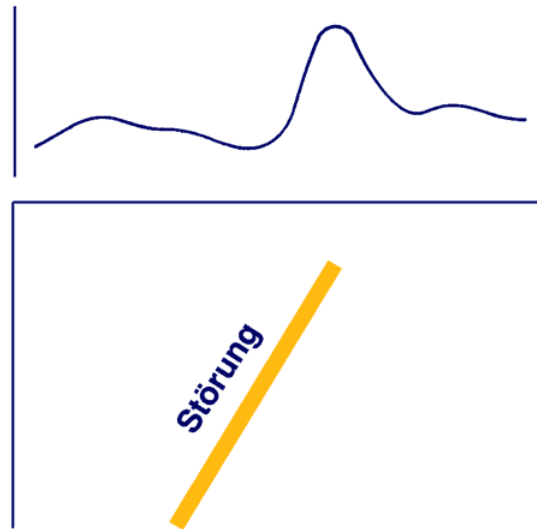


Abbildung: Prinzipskizze Radiometrie

# 7. Aerogeophysik

Bei aerogeophysikalischen Untersuchungen kommen vom Wirkprinzip her geophysikalische Verfahren zur Anwendung, wie sie auch am Boden benutzt werden. Als Träger der Messausrüstung dienen Hubschrauber oder Flugzeuge.

Die gebräuchlichsten Verfahren sind:

- Aeroelektromagnetik
  - Zweispulen-Verfahren
  - VLF
  - Transientenverfahren
- Aeromagnetik
- Aeroradiometrie

# 8. Bohrlochgeophysik

Geophysikalische Messungen in Bohrlöchern tragen zur Lösung folgender Aufgaben bei (FRICKE & SCHÖN 1999):

1. Dokumentation des Bohrprofils auf der Basis physikalischer Messgrößen,
2. Korrelation von Schichtprofilen, Leithorizonten,
3. Quantitative Bestimmung von Parametern (Porosität, Sättigung, hydrogeologische und geotechnische Parameter),
4. Ableitung von Aussagen zur stofflichen bzw. mineralogischen Zusammensetzung,
5. Bestimmung von kleinräumigen Strukturelementen, Schichtmerkmalen, Klüften usw.,
6. Quantitative Bestimmung von Parametern des Bohrlochfluids,
7. Dokumentation und Überwachung des technischen Zustandes von Bohrungen,
8. Kontrolle und Monitoring von Abbau- bzw. Förderprozessen,
9. Unterstützung oberflächengeophysikalischer Untersuchungen.

# Literatur

- BENDER, F. (1985): Angewandte Geowissenschaften.- Band II: Methoden der Angewandten Geophysik und mathematische Verfahren in den Geowissenschaften.- Stuttgart (Enke Verlag).
- FRICKE, S. & SCHÖN, J. (1999): Praktische Bohrlochgeophysik.- Stuttgart (Enke Verlag).
- HURTIG, E. & STILLER, E. (1984): Erdbeben und Erdbebengefährdung.- Berlin (Akademie Verlag).
- JACOBS, F. (1985): Immer wieder bebt die Erde.- Berlin (Verlag Neues Leben).
- KNÖDEL, K. & KRUMMEL, H. & LANGE, G. (1997): Handbuch zur Erkundung von Deponien und Altlasten.- Band 3: Geophysik.- Berlin (Springer Verlag).
- MILITZER, H. & WEBER, F. (1984): Angewandte Geophysik.- Band 1: Gravimetrie und Magnetik.- Berlin (Akademie Verlag).
- MILITZER, H. & WEBER, F.(1985): Angewandte Geophysik.- Band 2: Geoelektrik - Geothermik - Radiometrie - Aerogeophysik.- Berlin (Akademie Verlag).
- MILITZER, H. & WEBER, F. (1987): Angewandte Geophysik.- Band 3: Seismik.- Berlin (Akademie Verlag).
- NEUMANN, W. & JACOBS, F. & TITEL, B. (1989): Erdbeben.- Leipzig (B.G. Teubner Verlagsgesellschaft).
- VOGELSANG, D. (1993): Geophysik an Altlasten - Leitfaden für Ingenieure, Naturwissenschaftler und Juristen.- Berlin (Springer Verlag).