

Zusammenfassung der Vorlesung

Umwelt- und Ingenieurgeophysik

Dr. Erwin Geiss
LMU München
SS 2004

5. Juni 2004

von Christoph Moder
<http://www.skriptweb.de>

Hinweise (z.B. auf Fehler) bitte per eMail an uns: mail@skriptweb.de – Vielen Dank.

1 Umweltgeophysik

- Aufgaben:
 - Nachsorge: Altlasten erforschen (z.B. Deponien, Rüstungsaltslasten)
 - Vorsorge: Bodenschutz (Verhinderung zukünftiger Belastungen)
 - Ressourcensicherung (z.B. Beeinflussung von Baumaßnahmen, die Ressourcen wie Trinkwasser oder Bodenschätze beeinträchtigen würden)
 - Bodenüberwachung: Hohlraumbildung, Trichterbildung, Hangstabilität
 - Überwachung von Bauwerken, Erkundung von Baugrund, „Precision Farming“, Erforschung der Umgebung von Bergwerksstollen
 - Risikobeurteilung: Erschütterungsmessung, Erdbebenrisiko
 - Hydrogeologie: Grundwasserspiegel, Schadstoffausbreitung, Grenze Süß-/Salzwasser (an der Küste)
 - Archäologie (Erkundung ohne Grabung)
 - Geothermie (boomt seit dem Kernkraft-Ausstieg)
- Die Zusammenarbeit erfolgt meist mit Geologen:
 - Geologen kennen sich oft schlecht mit Messverfahren und erst recht mit deren Interpretation aus (Fehlerquellen, Mehrdeutigkeiten), d.h. ein Geophysiker sollte nicht mehr hineininterpretieren, als er mit Sicherheit sagen kann.
 - Geologen haben meistens eine viel größere Erfahrung (bezüglich welche Bodenschichtungen wahrscheinlich und welche entstehungsgeschichtlich unwahrscheinlich sind) und können daher die Ergebnisse der Geophysiker besser deuten.
 - Geophysiker verwenden Untersuchungsmethoden, die schnell und einfach zu erledigen sind, aber interpretiert werden müssen. Geologen dagegen verwenden Bohrungen (teuer, aufwändig), wo man sich nicht um den Untersuchungsvorgang an sich beschäftigen muss, sondern nur mit den Ergebnissen.
 - Geologen können oft mit abstrakten Messergebnissen (z.B. Signallaufzeiten) wenig anfangen und bevorzugen deren Interpretationen (z.B. Tiefe); dabei muss nicht nur das Ergebnis vermittelt, sondern auch auf die Unsicherheiten bei der Interpretation hingewiesen werden.

2 Georadar

- Untersuchung des Untergrunds mit elektromagnetischen Wellen, gemessen wird die Laufzeit.
- Je größer die Wellenlänge, desto größer die Eindringtiefe, aber desto schlechter die Detailauflösung ⇒ man kombiniert große und kleine Wellenlängen.
- Eindringtiefe: Größenordnung 10-30m
- Vorteile:
 - abbildendes Verfahren, man sieht bereits im Feld, was man misst
 - hohe Messgeschwindigkeit (mehrere Kilometer pro Tag möglich)
 - zerstörungsfrei (im Unterschied zu Bohrungen)
 - Durch wiederholte Messungen (z.B. einer Trockenperiode und einer folgenden Feuchtperiode) kann man die Fließgeschwindigkeit von Wasser im Untergrund beobachten.
- Nachteile:
 - geringe Eindringtiefe

- liefert nicht immer gleiche Ergebnisse, sondern schwankt mit dem Wassergehalt des Bodens
- sehr störanfällig durch künstliche Leiter (Stromkabel im Boden, Hochspannungsleitungen, Stahlbetonfundamente, Zäune)
- Messung der Reflexionen (wie bei der Seismik) \Rightarrow Methoden zur Auswertung wie bei der Seismik: Stapelung, Migration, Umrechnung der Laufzeit in Tiefe. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen (im Boden ca. $c/10$) ist aber deutlich höher als bei seismischen Wellen.
- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen hängt von der magnetischen Permeabilität μ_r und der Dielektrizitätszahl ε_r des Bodens ab. Während μ_r immer ungefähr 1 ist, unterscheidet sich ε_r deutlich bei verschiedenen Materialien.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$$

Für den Reflexionskoeffizient ergibt sich:

$$K = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}}$$

- Wasser und tonhaltige Gesteine sind elektrisch leitend und absorbieren daher die Radarwellen (d.h. unterhalb des Grundwasserhorizonts ist mit Radar nichts mehr zu erkennen; eine dünne Tonschicht wirkt oft wie ein sehr dicker absorbierender Körper). Je trockener das Gestein ist, desto tiefer dringen die Wellen ein. Weil aber Luft im Vergleich zu den Gesteinen eine sehr geringe Dielektrizitätszahl hat, bildet es zu ihnen deutliche Grenzflächen, an denen die Radarwellen stark reflektiert werden (\Rightarrow Hohlräume in der Erde sind gut erkennbar). Aus diesem Grund sollte die Radar-Antenne möglichst dicht auf dem Boden sitzen, um den Energieverlust an der Grenzfläche Luft-Boden zu minimieren.
- wählbare Parameter:
 - Messfrequenz
 - Messzeitfenster (Mindestzeitdauer: zum Ausblenden oberflächennaher Reflexionen; Höchstzeitdauer: man muss z.B. nicht auf Reflexionen von unterhalb des Grundwasserspiegels warten, weil deren Intensitäten nicht mehr messbar sind, d.h. zur Erhöhung der Messgeschwindigkeit wartet man sie nicht mehr ab)
 - Wahl der Profiltrichtung: idealerweise senkrecht zu den vermuteten Strukturen (z.B. Gräben), damit man die Übergänge gut erkennt
 - Filtermethoden
- Beispiel Deponie: erkennbar ist die Grenze der Deponie, während der Inhalt chaotisch und unstrukturiert wirkt

3 Bohrlochmessungen

- Mit „Bohrlochmessung“ sind verschiedene Messverfahren gemeint, die man von einer Sonde im Bohrloch aus durchführen kann. Man unterscheidet passive Verfahren (bei denen bereits vorhandene Eigenschaften gemessen werden) und aktive Verfahren (bei denen ein Signal gemessen wird, das man vorher ausgesendet hat):
 - Gammamessung (d.h. radioaktive Strahlung des Gesteins): liefert Aussagen über den Gehalt an Radionukliden und damit über den Gesteinstyp
 - Eigenpotenzial: natürlich vorhandenes elektrisches Potenzial im Untergrund, das durch die Wanderung von Ionen entsteht – in permeablen Bereichen sind die negativen Anionen beweglicher als die positiven Kationen, es stellt sich ein negatives Potenzial ein; in tonigen Bereichen ist es umgekehrt, es stellt sich ein positives Potenzial ein; um das Eigenpotenzial messen zu können, darf das Bohrloch noch nicht ausgebaut sein

- Temperatur: Die Temperatur wird als erstes gemessen (gleich bei der Abwärtsfahrt), um Verwirbelungen usw. zu minimieren.
 - Salinität: Messung der Leitfähigkeit der Spülflüssigkeit; daraus kann man Schlüsse ziehen, ob diese durch einströmendes Grundwasser verdünnt wird
 - Flowmeter: Messung der vertikalen Strömungsgeschwindigkeit mit einem Flügelrad; berücksichtigt werden muss die Fahrgeschwindigkeit im Bohrloch und sein Kaliber.
 - Geometrie: mit einem Kalibermessgerät, das Arme hat, die zur Seite abgespreizt werden; Ausbrüche (breakouts) im Bohrloch sind Hinweise für tektonische Spannungen
 - Borehole-Televiewer: Kamera, die mit einem Spiegel die Bohrlochwand filmt
 - Mikrowiderstandssonde: Spannung wird an die Bohrlochwand angelegt, der Stromfluss wird gemessen; liefert Aussagen über den Gesteinstyp (gut oder schlecht leitend) und die Porosität, erfordert ebenfalls ein nicht ausgebautes Bohrloch; in der Bauform eines Diplogs misst man den Widerstand in mehrere Richtungen gleichzeitig und dann dadurch Schichtneigungen messen
 - Induktionslog: Widerstandsmessung, mit einer Spule wird ein Magnetfeld erzeugt, das einen Ringstrom um das Bohrloch hervorruft; auch bei einem mit PVC ausgebauten Bohrloch möglich
 - Messung der magnetischen Suszeptibilität
 - Akustik-Log (= Ultraschall)
 - Gamma-Gamma oder Neutron-Neutron/Neutron-Gamma: mit einer radioaktiven Quelle strahlt man ins Gestein und misst die zurückgestreute Strahlung; berücksichtigt werden muss das Kaliber und die Eigenschaften der Spülsubstanz; das Verfahren wird in Bohrungen durch das Grundwasser nicht genehmigt, weil die Sonde und damit die radioaktive Quelle verloren gehen kann (die Bergung ist extrem aufwändig, alternativ kann man die verlorene Sonde einzementieren)
 - Bohrlochseismik (VSP, vertical seismic profiling): die von einer oberirdischen Quelle emittierten seismischen Wellen werden von einem Geophon im Bohrloch, das in verschiedene Tiefen bewegt werden kann, gemessen
- Ziel der Untersuchung: Eigenschaften der Bohrlochwand, Eigenschaften des Gebirges (d.h. des Gesteins außenrum), Eigenschaften des Ausbaus (d.h. Beschaffenheit des Materials, mit dem das Bohrloch ausgekleidet wurde)
 - Vorgehensweise: An einem langen Kabel wird die Sonde nach unten gelassen (das Kabel ist meist extrem teuer!). Normalerweise misst man erst beim Hochziehen.
 - Man versucht zunehmend, bereits während des Bohrens möglichst viele Daten zu sammeln, dazu sind die Messgeräte hinter dem Bohrkopf oder am Bohrgestänge befestigt. Vorteile: Ergebnisse sind in Echtzeit verfügbar (Daten werden über Druckimpulse durch die Spülung übermittelt), und man erspart sich den zeitaufwändigen und teuren Ausbau des Gestänges.
 - Eigenschaften, die das Messergebnis beeinflussen: Bohrlochgeometrie (wie groß, wie regelmäßig), welche Spülung verwendet wird (Zweck einer Spülung: Bohrer kühlen, Material abtransportieren, Poren verschließen, Bohrloch offen halten), Infiltrationsverhältnisse (wie weit die Spülung in das umgebende Gestein eingedrungen ist), Druck und Temperatur, Eigenschaften der Verrohrung
 - Ein Bohrloch ist nie ganz senkrecht, d.h. nach 20 bis 30 Metern liegt die Sonde an der Wand an.

4 Radiometrie

- Anwendungsgebiete:
 - Uran-Bergbau in der ehemaligen DDR (Wismut) erforschen, z.B. wurden die Deponien oft schlecht kartiert

- Radon in Häusern: V.a. in Gebieten mit radioaktivem Gestein (z.B. Granit in der Oberpfalz) steigt Radon (entsteht aus dem Zerfall von Radium) aus dem Boden auf und dringt durch kleine Fugen und Ritzen in den Keller ein, wo es sich anreichert (Gegenmaßnahmen: regelmäßig lüften). Wenn nach dem Winter der Boden auftaut, kommt oft ein ganzer Schwall von Radon, das sich gestaut hatte, heraus. Auch im Trinkwasser und in den Wänden von Häusern kann sich Radon anreichern.
 - Beitrag zur Erdbebenvorhersage: Wenn sich unsichtbare Mikro-Risse als Anzeichen für Spannungen im Boden bilden, kommt es manchmal zu einer erhöhten Radon-Freisetzung.
 - Isotopenchemie, z.B. Altersbestimmung des Grundwassers (wie lange es bereits unter der Erde ist und ob es Kontakt zu anderen Grundwasserschichten hatte)
- Arten von Strahlung: Alpha-Strahlung (Heliumkerne) ist sehr kurzreichweitig (Abschirmung bereits durch Papier), jedoch sehr stark ionisierend und daher bei Inkorporation sehr gefährlich. Beta-Strahlung (schnelle Elektronen bzw. Positronen) haben eine höhere Reichweite, aber einen geringeren Absorptionsquerschnitt. Gamma-Strahlung (hochfrequente elektromagnetische Wellen im MeV-Bereich) lassen sich kaum abschirmen (meterdicker Beton oder Blei), jedoch ist die ionisierende Wirkung gering.
 - Die natürliche Radioaktivität kommt v.a. durch den Zerfall von ^{40}K (zu ^{40}Ca (zu 89%) bzw. ^{40}Ar (zu 11%)), ^{238}U (zu ^{206}Pb), ^{235}U (zu ^{207}Pb), ^{232}Th (zu ^{209}Bi).
 - Radioaktives Kalium und radioaktiver Kohlenstoff sind in Lebewesen oft in erhöhter Konzentration zu finden, weil erstens alle Lebewesen Kohlenstoff verarbeiten (und damit auch das radioaktive Isotop aus der Luft, das durch Aktivierung des Stickstoffs entstanden ist) und zweitens Kalium überall dort eingebaut wird, wo Calcium eingebaut wird. D.h. Milch enthält relativ viel Kalium (und damit auch radioaktives Kalium), ebenso Zitronenmelisse. Wenn man Sport treibt, wird mehr Calcium in den Muskeln eingelagert, wodurch auch die radioaktive Belastung durch Kalium-40 steigt. Im menschlichen Körper sind etwa 10000 radioaktive Zerfälle pro Sekunde normal (etwa zu gleichen Teilen durch Kohlenstoff und Kalium verursacht, wobei Kalium-40 deutlich schädlicher ist – seine Äquivalentdosis beträgt etwa 0,15mSv, im Gegensatz zu 0,01mSv bei C-14).
 - Maßeinheiten:
 - Aktivität: Zerfälle pro Sekunde (Einheit: Becquerel; alte Einheit: Curie = Aktivität von 1g Radium = 37 Mrd. Bq)
 - Energiedosis: absorbierte Energie pro Masse (Einheit: Gray bzw. J/kg; alte Einheit: rad = 0,01 Gy)
 - Äquivalentdosis: Messgröße, die die biologisch schädliche Wirkung von Strahlung darstellt; dazu wird die Energiedosis mit einem Qualitätsdosisfaktor multipliziert, der je nach Strahlung verschieden ist (Beta- und Gammastrahlung: 1; Neutronen: 10; Alpha: 20). Einheit: Sievert; alte Einheit: rem = 0,01 Sv
 - effektive Äquivalentdosis: berücksichtigt zusätzlich die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe, d.h. die Äquivalentdosis wird mit einem Wichtungsfaktor multipliziert (der bei Haut und Knochen gering (0,01) und bei den Keimdrüsen hoch (0,20) ist)
 - Dosisleistung: Äquivalentdosis pro Zeit
 - Messgeräte messen nicht die Aktivität, sondern „Counts per Second“: Erstens kann ein Messgerät von der Geometrie her nicht alle Zerfälle erfassen, sondern nur einen Teil. Zweitens werden nicht alle Zerfälle registriert, der Wirkungsgrad beträgt nicht 100% und ist außerdem von der Strahlungsart abhängig (v.a. Gammastrahlung wird detektiert, aber umso schlechter, je höher ihre Frequenz ist). Drittens hat jeder Detektor (wegen dem verwendeten Photomultiplier) eine Totzeit in der Größenordnung von 10% der Messzeit.
 - Gammaskopie kann man z.B. in Bohrlöchern oder auch vom Hubschrauber aus durchführen. Weil die verschiedenen Nuklide charakteristische Gamma-Energien aussenden und weil verschiedene Gesteinsarten unterschiedlich stark strahlen (kristalline Gesteine: saure Gesteine stärker als basische; Sedimente: tonhaltige Gesteine und Kalisalze stärker als tonfreie Gesteine), kann man daraus auf die Gesteinsarten schließen.