

Zusammenfassung der Vorlesung

# Umwelt- und Ingenieurgeophysik

gehalten von  
Dr. Erwin Geiss  
LMU München  
SS 2004

13. Juli 2004

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

Hinweise (z.B. auf Fehler) bitte per eMail an uns: [mail@skriptweb.de](mailto: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: Hohlrumbildung, 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  $\mu_r$  und der Dielektrizitätszahl  $\varepsilon_r$  des Bodens ab. Während  $\mu_r$  immer ungefähr 1 ist, unterscheidet sich  $\varepsilon_r$  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 Profilrichtung: 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-Televiever: 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  $^{40}\text{K}$  (zu  $^{40}\text{Ca}$  (zu 89%) bzw.  $^{40}\text{Ar}$  (zu 11%)),  $^{238}\text{U}$  (zu  $^{206}\text{Pb}$ ),  $^{235}\text{U}$  (zu  $^{207}\text{Pb}$ ),  $^{232}\text{Th}$  (zu  $^{209}\text{Bi}$ ).
  - 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.
  - Gammaspektroskopie 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.

## 5 Aerogeophysik und Satelliteninterferometrie

- Anwendungsgebiete:
  - überall dort, wo man geländeunabhängig und schnell große Gebiete vermessen will
  - die Fixkosten sind hoch, aber der Preis pro Fläche ist bei großen Gebieten gering
  - z.B. geologische Kartierungen, auch zur Kartierung von Altlasten, zur Mineralexploration und Grundwassererkundung (für Letzteres interessant ist der Verlauf von Abflussrinnen aus früheren Eiszeiten, die vom Schotter späterer Eiszeiten zugeschüttet wurden; weil sie durch Sedimentation mit Tonmineralen ausgekleidet und dann durch die spätere Eiszeit noch einmal zusammengepresst wurden, bilden sie ideale Grundwasserleiter)
  - Satelliten-Interferometrie: Monitoring von Gletschern, Vulkanen, Hangbewegungen, seismischen Deformationen, Deformationen durch Bergbau bzw. Grundwasserentnahme (selbst ein Abbau in mehreren 100 Metern Tiefe ist vom Satelliten aus zu registrieren)
- Methoden: Messung von Flugzeug oder Hubschrauber aus, unter bestimmten Bedingungen (z.B. keine Fluggenehmigung erhältlich) auch mit Modellflugzeugen oder Lenkdrachen, Radarinterferometrie vom Satelliten aus
- Satelliteninterferometrie:
  - Radarbilder aus mehreren aufeinanderfolgenden Überflügen werden kombiniert. Dabei führt ein längerer Zeitraum zwischen zwei Bildern einerseits zu deutlicher erkennbaren Effekten, gleichzeitig ist das Bild stärker verrauscht durch Veränderungen in der Vegetation, Schnee usw.
  - Gemessen wird die Intensität und Phasenlage des reflektierten Radarsignals.
  - Zur Überlagerung zweier Bilder verwendet man „stabile Reflektoren“ (permanent reflectors) am Boden, das sind beliebige ortsfeste Gegenstände, die das Radarsignal stark reflektieren wie z.B. Blechdächer von Häusern.
  - Von Flugzeugen aus lässt sich diese Technik nur schlecht durchführen, weil die Position der Kamera genau bekannt sein muss. Bei Satelliten ist die Flugbahn bis auf Zentimeter genau bestimmt.
  - Die Auflösung ist senkrecht zur Flugrichtung am besten.
- Anwendungsbeispiel: Der Boden unter Würzburg enthält in einer Tiefe von 10-20 Metern Gipskeuper, der vom Grundwasser ausgelaugt wird. Dadurch entstehen Hohlräume, die plötzlich einbrechen können (Löcher in Straßen, Beschädigung von Häusern). Mit klassischen Methoden ist eine Messung kaum möglich, weil Methoden wie Geoelektrik oder Georadar in der dicht besiedelten Stadt mit versiegeltem Boden und vielen Rohren und Kabeln im Untergrund nicht sinnvoll durchführbar sind (außerdem befindet sich Ton über dem Gips, d.h. das Radar dringt kaum bis zum Gips durch, wo die Hohlräume sind), und eine Nivellierung ist sehr aufwändig und teuer. Aus der Luft kann man dagegen beginnende Senkungen erkennen.
- Ausstattung eines Flugzeugs als Beispiel: Cs-Magnetometer (Messfrequenz 10 Hz), Gamma-Spektrometer (mit NaI-Kristall; Volumen 4 Liter, da in der Höhe nur wenig Strahlung ankommt und man diese deshalb empfindlich detektieren muss; Messfrequenz 1 Hz), GPS, Laser-Altimeter; mit einer Messgeschwindigkeit von gut 100 km/h können pro Einsatz ca. 300 Profilkilometer gemessen werden zu einem Preis von ca. 4 Euro pro Kilometer.
- Bei Hubschraubern baut man die Messgeräte in eine externe Sonde, die etliche Meter unter dem Hubschrauber hängt, um dessen Störeinflüsse zu minimieren.

## 6 Das geologische Landesamt

- Aufgaben: Bodendatensammeln, Archive unterhalten, Daten zugänglich machen; jeder, der eine Bodenuntersuchung in Auftrag gibt, muss diese beim Landesamt anmelden und danach das Ergebnis mitteilen

- Im Labor werden Gesteine und Böden untersucht:
  - Mit einem Sieb wird die Korngröße ermittelt.
  - In einer Klimakammer wird die Frostfestigkeit bestimmt.
  - Die Wasseraufnahme und Wasserdurchlässigkeit wird gemessen.
  - Die Scherfestigkeit wird linear oder im Kreisringscherversuch ermittelt, z.B. um zu testen, ob ein Hang rutschgefährdet ist.
  - Quetsch- und Zugversuche zeigen, bei welcher Belastung das Gestein bricht.
  - Dichtemessungen
- Es gibt eine Bodenprofilensammlung aller in Bayern vorhandener Böden:
  - Hoch- und Niedermoore kommen v.a. in Südbayern vor; ein Hochmoor entsteht aus einem Niedermoore, das so weit gewachsen ist, dass es den Kontakt zum Grundwasser verloren hat und nur vom Regenwasser versorgt wird.
  - Braune Farbe deutet auf Tonminerale hin. Dunkle Böden sind meist sehr fruchtbar.
  - Löß entstand zur Eiszeit aus dem Erosionsstaub, der sich meist im Windschatten von Gebirgen abgelagert hat. Er hat ein ideales Wasserspeichervermögen, weil die Porengröße genau im richtigen Bereich liegt – sind die Poren zu groß (z.B. Schotter), wird das Wasser nicht gespeichert, sondern sickert schnell nach unten, Trockenheit ist ein Problem; bei Böden mit zu geringer Porengröße staut sich das Wasser, der Boden enthält keine Luft.
  - Podsole sind gebleicht durch organische Säuren, die schlecht für die Pflanzen sind.
  - Böden, die vor der Eiszeit entstanden sind, sind meist bunter, weil das Klima wärmer war und dadurch mehr Oxidation stattgefunden hat.
  - Einen von Staunässe geprägten Boden bezeichnet man als Gley. Im Allgemeinen kommt diese Nässe von unten (hoch stehendes Grundwasser); wenn sie von nicht abfließendem Regenwasser kommt, spricht man von Pseudogley.
  - Fließerde: Ein nasser Boden auf Permafrost kommt schnell ins Rutschen; bereits ab einer Neigung von 2° ist das der Fall.
  - Der ideale Boden ist geringfügig sauer (ca. pH 6), damit sich einerseits die Pflanzen wohlfühlen (d.h. nicht zu sauer), aber auch die Minerale aus dem Boden gelöst werden.

## 7 Auftragsvergabe und Pflichtenheft

- Geophysikalische Methoden sind oft wesentlich billiger als eine Untersuchung durch Bohrungen. Jedoch muss sichergestellt sein, dass eine geeignete Untersuchungsmethode verwendet wird – darum ist eine Zieldefinition unverzichtbar. Geklärt werden muss, was genau untersucht werden soll und welche Fragen geklärt werden müssen, und ob z.B. eine qualitative Beschreibung reicht oder ob quantitative Modellierungen verlangt werden.
- Vorarbeiten einer Untersuchung: Alle nötigen Genehmigungen einholen (von Grundstücksbesitzern wird oft verlangt, dass man verständlich erklären kann, was man genau machen möchte und warum) und Hindernisse klären (Geländeform, Befahrbarkeit, Bebauung, Leitungen usw.). Hilfreich dazu ist ein Blick in die Archive (Lagepläne, Luftbilder, Informationen der geologischen Landesämter).
- Messprogramm aufstellen: Genau auflisten, welche Messmethoden verwendet werden sollen und in welchem Raster sie anzuwenden sind. Ebenfalls schriftlich festhalten, welche Erkundungstiefe und welche Messgenauigkeit gefordert wird. Evtl. kann es sinnvoll sein, eine Voruntersuchung durchzuführen und diese dann selektiv zu verdichten.

- Auswertung: Festlegen, mit welcher Software die Auswertung erfolgen wird (z.B. anerkannte Standardsoftware) und in welchem Maßstab bzw. GIS-System die Daten dargestellt werden. Außerdem: Vergleich der verschiedenen Verfahren (incl. Verfahren anderer Disziplinen) bezüglich Konsistenz der Ergebnisse Klare, verständliche Darstellung, damit auch Nicht-Fachleute etwas damit anfangen können und für den Auftraggeber klar erkennbar ist, dass das Pflichtenheft erfüllt wurde! Außerdem evtl. Empfehlung, welche ergänzenden Untersuchungen aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen sinnvoll sind.
- Im öffentlichen Dienst ist bei einer Vergabesumme über 25000 Euro eine Ausschreibung vorgeschrieben; bei geringeren Summen müssen zumindest Vergleichsangebote eingeholt werden. Dazu ist ein Pflichtenheft nötig, das gleiche Vorgaben für alle Bieter liefert und auf das sich sowohl Auftraggeber als auch Ausführer berufen können. Als Auftraggeber empfiehlt es sich, die Nennung von Referenzprojekten zu verlangen und dort nachzuforschen, wie die Erfahrungen mit dem potenziellen Auftragnehmer sind, und bei im Nachhinein schlechten Erfahrungen zu verlangen, nicht in der Referenzliste zu erscheinen. Ziel: Vergabe an den kostengünstigsten (d.h. nicht unbedingt billigsten) Bieter; Nachverhandlungen sind nicht erlaubt!
- Festlegen, welche Ansprechpartner auf beiden Seiten verantwortlich sind.