

Mitt. österr. geol. Ges.	79 (1986) Umweltgeologie- Band	S. 327-341 7 Abb., 3 Tab.	Wien, Dezember 1986
--------------------------	--------------------------------------	------------------------------	---------------------

Verfahren der Ingenieurgeophysik für die Lösung von Problemen des Umweltschutzes in Österreich

Von Georg WALACH*)

Mit 7 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Die Bedeutung geophysikalischer Methoden im Rahmen der Untersuchung von Umweltproblemen nimmt ständig zu. Wegen der Kleinheit und/oder Heterogenität der zu untersuchenden Objekte, werden häufig spezielle mikrogeophysikalische Meßtechniken und Auswertverfahren angewandt. Die zu untersuchenden Fälle können in 5 Gruppen unterteilt werden: Kontaminierte Flächen, Gebirgshohlräume, Bodenerschütterungen, archäologische Bodendenkmale und Sonderfälle. An ausgewählten Beispielen aus Österreich werden die praktischen Möglichkeiten der Untersuchung von Mülldeponien diskutiert.

Summary

The importance of geophysical methods in frame of investigations of environmental problems is increasing continuously. Because of the smallness and/or heterogeneity of the investigated objects, frequently specific microgeophysical measuring techniques and evaluation methods were used. The investigated cases may be divided into 5 groups: Contaminated areas, underground cavities, ground vibrations, archaeological sites and particular cases. On selected examples from Austria the practical possibilities on elucidation of waste deposits were discussed.

Inhalt

1. Einleitung	327
2. Ingenieurgeophysik und Umwelt – eine Übersicht	328
3. Erkundung kontaminierter Flächen	332
4. Schlußbetrachtungen	340
Literatur	340

1. Einleitung

Die Befassung mit Aufgaben des Umweltschutzes war bisher kein spezifisches Arbeitsgebiet der angewandten Geophysik in Österreich, obwohl es zum Beispiel in der Hydrogeologie und bei Erschütterungsmessungen schon immer Berührungspunkte mit diesem Themenkreis gab. Erst in jüngster Zeit kommt die Geophysik in steigendem Maße ins Gespräch, wenn es gilt, Kenngrößen bzw. Modellvorstellungen

*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. mont. Georg WALACH, Institut für Geophysik, Montanuniversität, A-8700 Leoben, Österreich.

gen über Strukturen, Eigenschaften und Zustände des natürlichen oder gestörten geologischen Untergrundes für Maßnahmen des technischen Umweltschutzes zu gewinnen.

Es ist ein allgemeines Charakteristikum der in diesem Zusammenhang gestellten Fragen, daß sie meist sehr hohe Ansprüche an die geophysikalische Meß- und Auswertemethodik stellen. Auch kommen häufig, abweichend von den aus Rohstoffprospektion und Geotechnik vertrauten Routinen, völlig neue Gesichtspunkte ins Spiel. Dies verlangt von dem mit der Aufgabe befaßten zumindest ein Umdenken, oft aber auch eine völlige Neukonzeption der anzuwendenden Methodik. Eine begleitende Grundlagenforschung auf diesem neuen Zweig der Ingenieurgeophysik erscheint daher unumgänglich notwendig zu sein. Dies kommt beispielsweise im Gesamtkonzept des Bundesministeriums für Forschung und Technik der BRD zum Problem des Altlastenmülls eindeutig zum Ausdruck, worin Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der geophysikalischen Detektionstechniken explizit und an hervorragender Stelle als förderungswürdig genannt werden (ALTENMÜLLER, 1986; Pressemit. BMFT 3/86). Es ist daher mit Genugtuung zu vermerken, daß auch in Österreich durch das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung einschlägige Projekte in die Forschungsförderung (Projektgruppe „Geophysik der Erdkruste“) einbezogen wurden.

Erstes Ziel dieses Beitrages ist es, eine systematische Übersicht der mittels Geophysik bearbeitbaren Probleme des Umweltschutzes zu vermitteln. Schließlich sollen nicht nur theoretische Lösungsansätze, sondern auch an ausgewählten Beispielen aus Österreich die Dimensionen des Machbaren kurz beleuchtet werden.

2. Ingenieurgeophysik und Umwelt – eine Übersicht

Allgemein steht der Geophysiker bei Problemstellungen des Umweltschutzes vor der Situation, daß sehr kleine (z. B. Hohlräume) und/oder extrem heterogene (z. B. Deponien) Bereiche des Untergrundes zu erkunden und quantitativ zu beschreiben sind. Das führt zwangsläufig zur Anwendung mikrogeophysikalischer Erkundungsverfahren. Nach Definition (LAUTERBACH, 1954; ARZI, 1975; MILITZER, SCHÖN und STÖTZNER, 1986) sind diese durch kleine bis kleinste Meßpunktabstände, hohe Meßgenauigkeit, spezielle Meßtechniken (z. B. Gradientenmessung) und besondere Auswerteverfahren (z. B. Isanomalien-Richtungsstatistik) gekennzeichnet. Grundsätzlich sind von einem optimal geeigneten Meßverfahren auch noch eine definierte Abbildungstiefe, hohes Auflösungsvermögen, schneller Meßfortschritt und – da die Ergebnisse manchmal sofort verfügbar sein müssen – in gewissen Grenzen die „quick look“-Interpretierbarkeit zu fordern.

Näher an das Thema herantretend ist zunächst zu klären, welche Problemfälle des Umweltschutzes grundsätzlich der geophysikalischen Methodik zugänglich sind. Für diesen Zweck hat sich nach den bisherigen Erfahrungen eine Gliederung in fünf Problemgruppen (siehe Tab. 1) bewährt. Diese Gruppen können wie folgt kurz charakterisiert werden.

Vom Volumen der anstehenden Probleme her betrachtet, stellt sicher die Gruppe 1, kontaminierte Flächen, die Hauptaufgabe für alle Aktivitäten der näheren Zukunft dar. Insbesondere dann, wenn man die Erkundung potentieller

Tab. 1: Ingenieurgeophysikalische Problemgruppen im Bereich Umweltschutz – Übersicht

1. Kontaminierte Flächen
 - Altlastenareale
 - geplante Deponiestandorte
 - alte Bauflächen
2. Gebirgshohlräume
 - Karstlandschaften
 - alte Bergbauggebiete
 - urbane Zentren
3. Bodenerschütterungen
 - Stochastische Erschütterungen
(Verkehr, Industrieanlagen)
 - impulsförmige Erschütterungen
(Sprengungen, Rammern, Hämmer)
 - Simulation potentieller Quellen
4. Kulturgüterschutz-Archäogeophysik
 - Erkundung von Bodendenkmalen
(Bauten, Gräber, Feuerstellen)
5. Sonderfälle
 - Optimale Planung von Schipisten, Rekultivierung von Rohstoffentnahmen u. a.

neuer Deponieareale zu dieser Gruppe zählt. So berichtet ALTENMÜLLER (1986), daß in der Bundesrepublik Deutschland von insgesamt 32.000 erfaßten Fällen rund 5400 oder 17% als akut gefährlich einzustufen sind. Die Kosten für Erkundung, Sanierung und Überwachung werden durch das Umweltbundesamt mit 3–20 Milliarden DM geschätzt. Auf die geophysikalischen Aspekte dieser Gruppe wird in Kapitel 3. näher eingegangen.

Unbekannte Gebirgshohlräume (Gruppe 2) nahe der Tagoberfläche sind in Karstlandschaften, alten Bergbaugebieten und manchmal auch in den urbanen Zentren (alte Kanalisationen, Luftschutzsysteme, Kellerruinen u. a.) eine ernstzunehmende Gefahrenquelle für Menschen und Sachgüter. Für die Geotechnik resultiert daraus das Problem, Hohlräume oder deren Sekundärererscheinungen in Form von Auflockerungszonen des Gebirges, orten, beurteilen und gegebenenfalls sanieren zu müssen.

Für die geophysikalische Meßtechnik bedeutet Hohlraumortung in der Regel ein Arbeiten an der Grenze des Auflösungsvermögens, da meist die Mächtigkeit der überlagernden Schichten H groß gegenüber der Dimension des Hohlraumes D ist. Erfolgreiche Problemlösungen sind allgemein bis zu einem H/D -Verhältnis von 5, in Sonderfällen bis 10 möglich (ANDERS, 1970; FAJKLEWICZ, 1976; MILITZER, et al., 1986). Daher ist prinzipiell jenen Meßverfahren der Vorzug zu geben, für die der Hohlraum den größtmöglichen physikalischen Kontrast gegenüber seiner Umgebung bildet. Das gilt bei luftgefüllten Hohlräumen für die gravimetrischen, elektrischen und seismischen Verfahren. Eine Wasserfüllung führt allgemein zu einer ungünstigeren Situation, kann aber auch insbesondere für die elektrischen und elektromagnetischen Meßverfahren in Hartgesteinen mit schlechter Leitfähigkeit die Erfolgchance verbessern.

Tab. 2: Methoden, Anwendungsspezifika und Aussagemöglichkeiten geophysikalischer Methoden in der Hohlräumerkundung, modifiziert nach WALACH (1985)

Verfahren oder Methode	Messung erfolgt von			geowissenschaftl. Aussage		
	Oberfläche	Untertage	Bohrloch	qualitativ „Kartierung“	quantitativ „Störkörper“	Erprobung
Seismik						
Oberflächenwellen	++	-	-	+	+-	+
Durchschallung	+-	++	++	+	+	+
Reflexion (Resonanz)	+	+	-	+-	+-	+-
Refraktion	+	+-	-	+	+-	+
Elektrik						
Widerstandskartierung	++	+	+-	+	-	+
Widerstandssondierung	+	+-	-	+-	+-	+
Hochfrequenzmethoden	+-	+	++	+	+-	+
Gravimetrie						
Schweremessung	++	++	+	+	+	+
Schweredifferenz (zeitl.)	+	+	-	+	-	+-
Vertikalgradient	+	+	+	+	+	+
Horizontalgradient	+	+	-	+	+-	+-
Magnetik (eiserner Ausbau)						
Infrarotgeothermie	+	+	+	+	+-	+-
Radon-Emanometrie	+	+-	-	+	-	+-
+	-	-	+-	-	+-	+-

Ein Blick auf die Tabelle 2 zeigt, daß die meisten geophysikalischen Verfahren schon in der Hohlräumerkundung erprobt wurden. Hauptsächlich die drei erstgenannten Methoden bieten an der Oberfläche, unter Tage und im Bohrloch mehrere Möglichkeiten, mit deren Hilfe das anomaliebildende Massendefizit von Hohlräumen geortet und quantitativ erfaßt werden kann.

Zusammenfassungen über den Wissensstand der geophysikalischen Hohlräumortung wurden in jüngster Zeit durch OWEN (1983) und WALACH (1985) – beide mit umfangreichen bibliographischen Angaben – veröffentlicht. Neben den theoretischen Grundlagen nehmen in beiden Arbeiten detaillierte Fallstudien breiten Raum ein.

Schwingungs- und Erschütterungsmessungen (Gruppe 3) zählen zu den klassischen Aufgaben der Ingenieurgeophysik im Umweltschutz und dienen primär dem Zweck, die von technischen Quellen ausgehenden elastischen Wellen im Untergrund nach festgelegten Bewertungsmaßstäben (ÖNORM S 9001, DIN 4150 u. a. m.) hinsichtlich möglicher Schadenswirkungen zu beurteilen. Als Maßzahlen dienen dabei Schwinggeschwindigkeiten oder auch -Beschleunigungen des Bodens. Internationale Vergleiche der Beurteilungsmaßstäbe lassen erkennen (MILITZER, et al., 1978, 1986), daß in den USA, wie auch der UdSSR, die zulässigen Schwinggeschwindigkeiten höher festgelegt sind, als in den dichtbesiedelten kleineren Industriestaaten.

Nach der Entstehung unterscheidet man zwischen stochastischen bzw. quasistationären Erschütterungen, die durch Verkehr und Industrieanlagen hervorgerufen werden und impulsförmigen Erschütterungen, die in erster Linie durch Sprengungen entstehen.

Neue Wege beschritten WEBER (1972) und in weiterer Folge WALACH (1979, 1980), indem sie das Ausmaß zu erwartender Erschütterungsbelastungen von neu zu errichtenden Industrieanlagen (Schmiedehämmer, -Pressen) mit Hilfe von seismischen Sprengungen simulierten. Obwohl nachfolgende Kontrollmessungen die Brauchbarkeit der Methode bestätigten, blieb ihre Anwendung bisher auf Einzelfälle beschränkt.

Die Erkundung von Bodendenkmalen (Gruppe 4), besser bekannt als Archäogeophysik, ist seit AITKEN (1958) in die Methodik der grabenden Geschichtsforschung eingeführt. Heute werden fast alle geophysikalischen Methoden in der archäologischen Prospektion zumindest erprobt, wobei jedoch Geomagnetik und elektrische Kartierungen bevorzugt angewendet werden. Durch die große Naturflächen beanspruchenden Verkehrs- und Transportbauten (Straßen, Pipelines) und die damit häufig verbundene Vernichtung oft unersetzlicher Kulturgüter, erlangen geophysikalische Erkundungsmethoden in Österreich auch aus der Sicht des Kulturgüterschutzes (gezielte Planung von Notgrabungen) einen ständig steigenden Stellenwert (WALACH, 1983; PRESSLINGER, et al., 1986).

In Gruppe 5 der Tabelle 1 sind schließlich noch Sonderfälle zusammengefaßt, von denen als Beispiel die technisch und ökologisch (sub)optimale Planung neuer Schipisten (RAMSKOGLER, 1986; WALACH, 1984) genannt werden soll. Wohl fällt die Hauptkompetenz bei Schipistenplanungen den Disziplinen der Bodenkultur (Waldbau, Wildtierökologie u. a.) zu, doch hat sich bei Modellstudien im Rahmen des MAB-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern, die Geophysik (Refraktionsseis-

mik, elektrische Kartierungen und Sondierungen) als wesentliche Entscheidungshilfe bezüglich der ökologischen und bautechnischen Einflußgrößen bestätigt.

Auch im Zusammenhang mit Rekultivierungsplänen für bestehende und insbesondere neu zu errichtende Schottergruben, Steinbrüche u. ä., zeichnet sich nach ersten Versuchen (KOFLEK, 1985) ein neuer Anwendungsschwerpunkt im Zuge der Umweltverträglichkeits-Begutachtungen ab. Da die Prognose des geologischen Endzustandes einer Rohstoffentnahme für die zu planenden biologischen Maßnahmen (z. B. Wahl der richtigen Pionierpflanzen) ein wesentlicher Faktor ist, kommt auch hier geophysikalischen Detektionstechniken einige Bedeutung zu. Zumindest sollte diese Komponente des Problemkreises Massenrohstoffe schon in der Prospektions- und Erschließungsphase mehr Berücksichtigung finden, wenn die Geophysik meist ohnehin vor Ort steht.

Diese Übersicht der Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Verfahren im Umweltschutz basiert zum überwiegenden Teil auf persönlichen Erfahrungen und ist daher schon aus diesem Grund sicher nicht vollständig. Sie ist daher auch nur als ein Diskussionsbeitrag für die Erstellung eines die geowissenschaftlichen Aspekte des Umweltschutzes berücksichtigenden Gesamtkonzeptes für Österreich zu verstehen.

3. Erkundung kontaminierter Flächen – Probleme, Methoden und Beispiele

Das komplexe Problem der kontaminierten Flächen umfaßt von der Erkundung bis zur Sanierung und schließlich Kontrolle des Areals eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten für die Geophysik. Die Tabelle 3 vermittelt eine Liste der bearbeitbaren Probleme und der dabei am günstigsten anzuwendenden Verfahren. Im folgenden wird auf das Altlastenproblem etwas näher eingegangen.

Tab. 3: Aufgabenbereiche der Geophysik und anwendbare Verfahren in der Problemgruppe kontaminierte Flächen

A) Erkundung von Altlasten

1. *Ortung und laterale Abgrenzung*
Geomagnetik, elektrische Kartierungen, Gravimetrie, geothermische Kartierung (Hochfrequenzmethoden),
2. *Quantitative Erkundung der Deponiesohle*
(*Strukturen, Schichtaufbau, Hydrogeologie*)
Refraktionsseismik, geoelektrische Sondierungen, Gravimetrie (Hochfrequenzmethoden),
3. *Klassifikation des Deponieinhaltes*
Geomagnetik, spezielle elektrische Kartierungen,
4. *Umland (z.B. Abströmfahne)*
elektrische und elektromagnetische Kartierungen
5. *Sanierung (z. B. Sohlabdichtung)*
spezielle elektrische Kartierungsmethoden

B) Erkundung geplanter Deponiestandorte

1. *Istzustandserhebung*
Refraktionsseismik, elektrische Sondierungen und Kartierungen (Hochfrequenzmethoden)

2. *Kontrolle von Sohlschicht-„Verbesserungen“*
spezielle elektrische Kartierungen (Hochfrequenzmethoden)
 3. *Hydrogeologische Beweissicherung (Betriebskontrolle)*
elektrische und elektromagnetische Bohrlochmessungen
- C. *Bauflächen (alte Industrieareale, Trümmergrundstücke)*
1. *Laterale Abgrenzung und Untergrundstruktur*
Gravimetrie, Refraktionsseismik, elektrische Sondierungen und Kartierungen (Geothermie, Geomagnetik)
 2. *Physikalische Baugrundparameter*
Refraktionsseismik (Kompressions- und Scherwellenmessungen), elektrische Sondierungen, Bohrlochmessungen
 3. *Sonderfälle*
siehe Problemgruppe Hohlraumerkundung

Müll jeglicher Art unterscheidet sich im allgemeinen in seinen physikalischen Kenngrößen deutlich gegenüber dem ungestörten Umland. Eine Studie über seismische, elektrische, magnetische, gravimetrische und andere physikalische Eigenschaften unterschiedlichster Arten von Müll (physikalische Müllparameter) steht derzeit in Bearbeitung. Die Suche und laterale Abgrenzung von nicht näher bekannten Altlasten stellt in der Regel ein meßtechnisch einfach zu lösendes Problem dar. Aus Gründen der Ökonomie (schneller Meßfortschritt, einfache Auswertung) ist nach Erfahrung die Anwendung geomagnetischer oder geoelektrischer Rastervermessungen zu empfehlen. Praktisch gesehen sind für diese Aufgabe jedoch fast alle bekannten geophysikalischen Verfahren anwendbar.

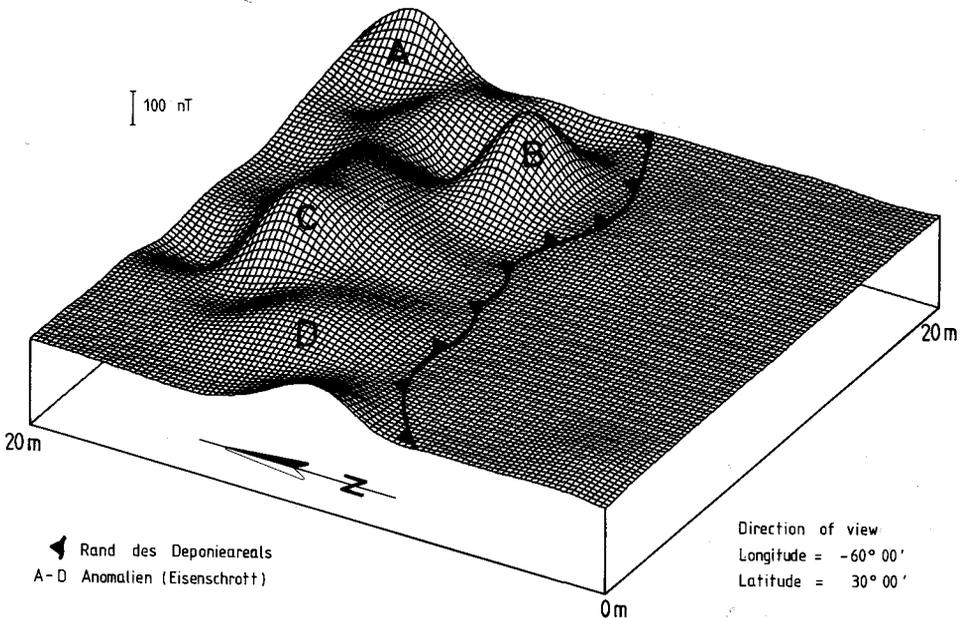


Abb. 1: Blockbild des magnetischen Störfeldes (Totalintensität) aus dem Randbereich einer rekultivierten Altdeponie in Oberösterreich, nach WALACH (1986).

Die Abb. 1 zeigt als Beispiel eine 3d-Blockdarstellung des geomagnetischen Störfeldes im Randbereich einer „rekultivierten“ Schottergrubendeponie. Diese ist unter einer etwa 1 m mächtigen humosen Überdeckung mit 3–5 m Haus- und Gewerbemüll sowie Bauschutt aufgefüllt – das Liegende bildet lokal verlehnte Moräne. Die Messung erfolgte mit einem Protonenmagnetometer im Raster 2×2 m (Zeitaufwand ca. 1 Stunde!), wobei der Sensor mittels eines speziellen Stativs 0,5 m über Grund geführt wurde. Trotz der für eine übersichtliche Darstellung erforderlichen starken Dämpfung der Störampplituden (Meßgenauigkeit ± 1 nT, maximale Anomalieamplitude ca. 800 nT), tritt die Grenze zwischen Deponie und ungestörtem Randbereich auch für den Nichtfachmann eindeutig sichtbar hervor. Durch spezielle Auswerte- und Darstellungstechniken kann jedoch die Interpretationssicherheit noch wesentlich gesteigert werden. Auch Widerstandskartierungen würden ein ähnliches Bild liefern.

Meß- und auswertetechnisch bedeutend schwieriger gestalten sich quantitative Untersuchungen des Schichtaufbaues und insbesondere der hydrogeologischen Verhältnisse im Liegenden von Deponiekörpern. Die meist sehr starke Heterogenität der deponierten Massen führt bei fast allen Methoden zu einem sehr hohen Störpegel der Meßwerte. Wie jedoch Experimente gezeigt haben (WALACH, 1984; 1985 a), kann zumindest für die elektrischen und magnetischen Methoden durch spezielle Adaptierungen der Meßtechnik, Signalstapelung und Anwendung mathematischer Filterverfahren auch unter schwierigsten Verhältnissen ein interpretierbares Meßergebnis erreicht werden. Als Hauptmethoden für die Erkundung der Liegendverhältnisse von Deponien sind elektrische Sondierungen, Refraktionsseismik, Gravimetrie und für die Zukunft auch Elektromagnetik- und Radar Sondierungen (MILITZER und WEBER, 1984; 1985) zu nennen.

Die Abb. 2 zeigt schematisch die Ergebnisse eines geoelektrischen Sondierungsprofils über einer Mischdeponie (Bau-, Gewerbe- und Hausmüll) des Marchfeldes. Die Blockdiagramme A und D vermitteln Einblicke in den ungestörten Schichtaufbau des Umlandes, bestehend aus etwa 1,5 m Verwitterungsschicht (60–120 Ohm.m), rund 20 m Quartärschotter (500–1000 Ohm.m), liegend mergeliges Tertiär (40–60 Ohm.m). Der geoelektrisch bestimmte Grundwasserspiegel (Grundwasserhorizont 280–400 Ohm.m) ist mit dem durch Lotung bestimmten Wert von 15 m nahezu identisch. Das Sondierungsergebnis im Bereich des Deponiekörpers, im Detail dargestellt in Abb. 3, zeigt hingegen beträchtliche Abweichungen vom natürlichen Zustand. Nicht nur, daß im unmittelbar Liegenden des Mülls (60 Ohm.m) mit 145 Ohm.m deutlich reduzierte spezifische Schichtwiderstände erscheinen – ein Indiz für erhöhte elektrolytische Leitfähigkeiten – weisen Werte um 90 Ohm.m im Grundwasserhorizont auf eine ausgeprägte elektrolytische Kontamination hin. Dazu ein Rechenbeispiel:

Der spezifische Formationswiderstand des Grundwasserhorizontes R_t kann mit Hilfe des matrixspezifischen Formations-Widerstandsfaktors F und dem Widerstand des Formationswassers R_w nach

$$R_t = F \cdot R_w$$

bestimmt werden. Nimmt man nun für den Quartärschotter eine Porosität von 30% an, so ergibt sich nach der ARCHIE-Formel (SCHLUMBERGER-CHARTS, 1972) ein Wert für F von 10 und mit einem mittleren $R_t = 300$ Ohm.m (Messung) ein R_w von

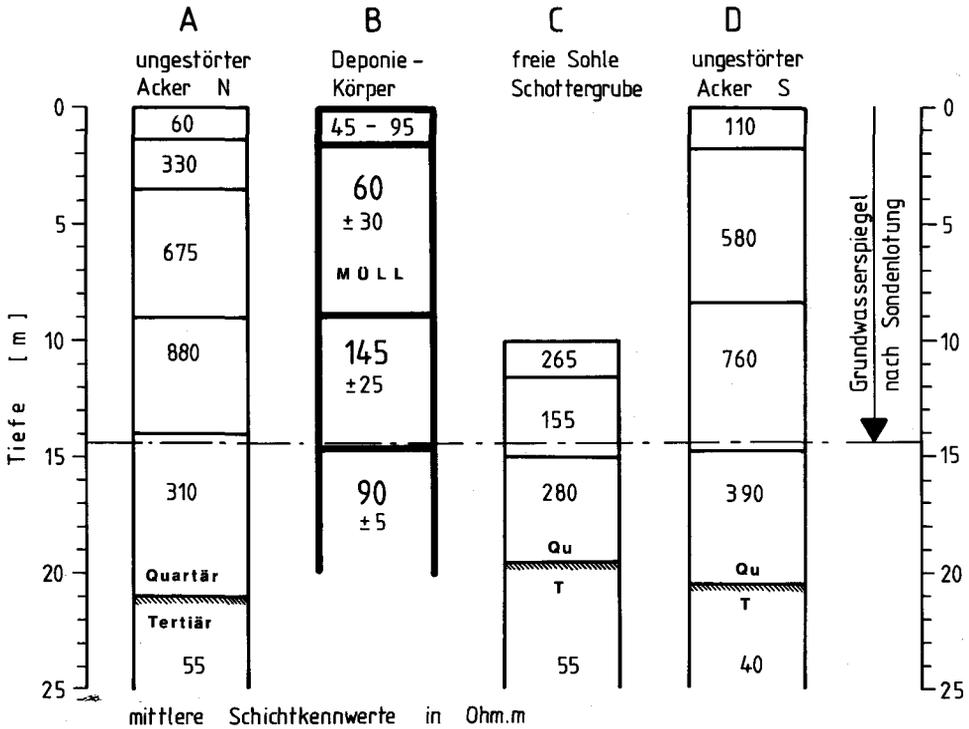


Abb. 2: Schematisch zusammengefasstes Interpretationsergebnis von geoelektrischen Sondierungsprofilen über eine Mülldeponie im Gebiet des Marchfeldes, Niederösterreich.

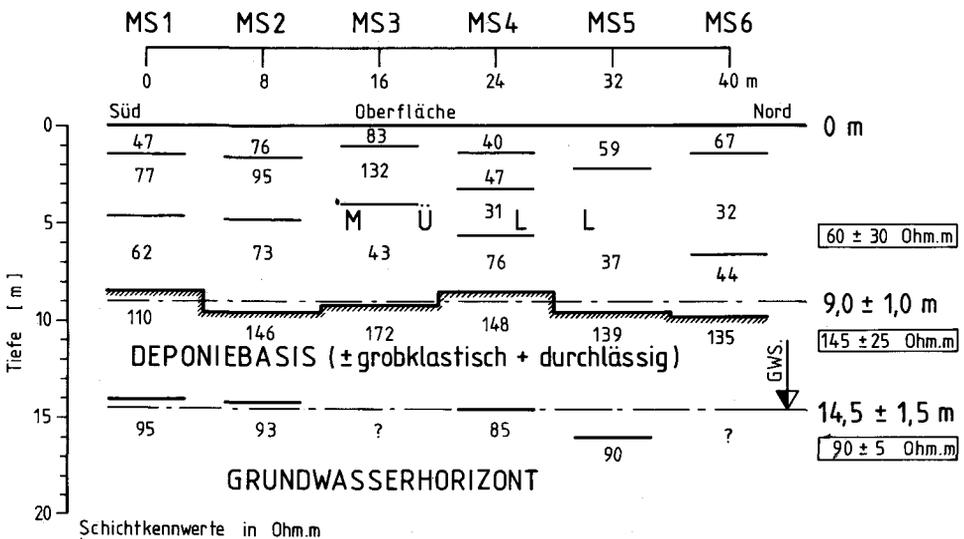


Abb. 3: Detaillierte Darstellung zu Abb. 2 des Schichtaufbaues im Bereich des Deponiekörpers.

30 Ohm.m für den ungestörten Zustand. Nun beträgt nach den Meßergebnissen unter dem Deponiekörper das R_1 nur 90 Ohm.m. Da der Matrixparameter F konstant bleibt, kann auf einen spezifischen Widerstand des kontaminierten Formationswassers von kleiner als 10 Ohm.m geschlossen werden. Der Beweis einer elektrolytischen Grundwasserbeeinträchtigung erscheint daher schlüssig.

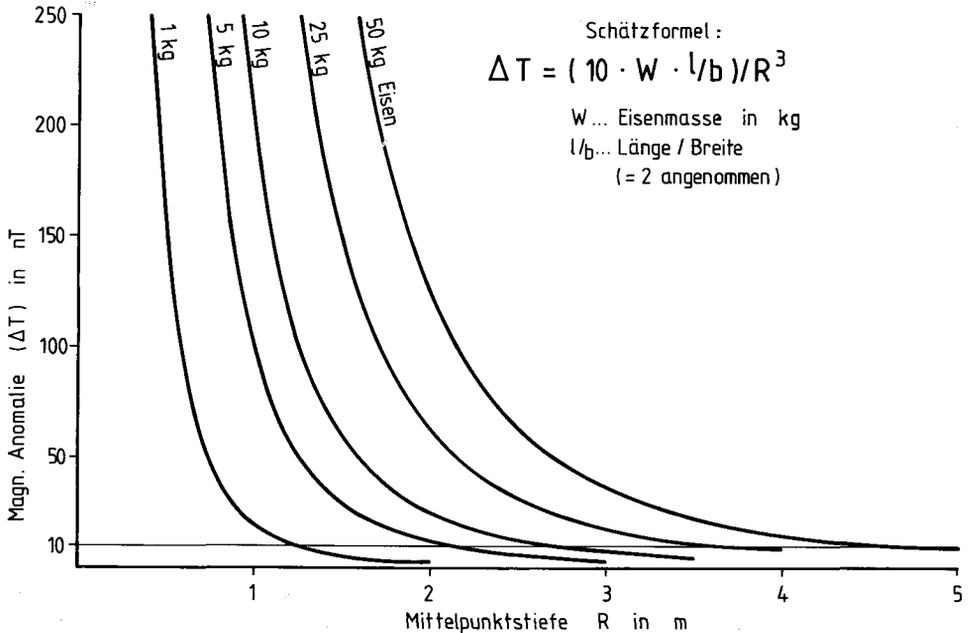


Abb. 4: Diagramm für die Abschätzung der erreichbaren Nachweistiefe von eisernen Konstruktionsteilen mittels geomagnetischer Mikromessungen.

Auch die Analyse des Deponieinhaltes ist ein wesentlicher Teil der Erhebung des Istzustandes und kann innerhalb gewisser Grenzen mittels geophysikalischer Detektionstechniken erfolgen. Häufigster Anwendungsfall ist dabei der Nachweis von Eisenteilen (Autowracks, Altölfässer!), sowie deren tiefen- und mengenmäßige Abschätzung. Für diese Aufgabe sind geomagnetische Messungen und nachfolgende Modellrechnungen geeignet. Abb. 4 zeigt ein Diagramm, mit dessen Hilfe eine grobe Abschätzung der Erfolgsaussichten erfolgen kann. Gegenüber den aus dem Bild ablesbaren Nachweistiefen für eiserner Konstruktionsteile ist durch spezielle mikromagnetische Meßtechniken (Bestimmung von Horizontal- und Vertikalgradienten) eine Steigerung der Nachweistiefe etwa um den Faktor 1,5–2 möglich.

Durch Kombination von magnetischen, gravimetrischen und elektrischen Rastervermessungen erscheint es nach Ergebnissen von Modellversuchen aber auch möglich zu sein, den Deponieinhalt noch weitergehend zu klassifizieren. Durch komplexe Korrelation der Meßergebnisse kann zum Beispiel Hausmüll von blockigem Bauschutt oder Humusablagerungen eindeutig unterschieden werden. Grundsätzlich bedarf jedoch die Klassifikation von Deponieinhalten noch weiterer Forschungsarbeiten.

In diesem Zusammenhang müssen auch die häufig angewendeten, nach einem elektromagnetischen Prinzip arbeitenden, Metalldetektoren genannt werden. Gegenüber der Geomagnetik haben sie den Vorteil, daß alle Metalle geortet werden können – Nachteile sind, daß diese Instrumente in der Nachweistiefe noch stärker limitiert sind und der Nachweis meist nur qualitativ (akustisch) erfolgt. Nach Erfahrung (WALACH, 1986) bringt die Kombination Magnetometer – Metalldetektor gewisse Vorteile. Wichtig ist die Anwendung von Metalldetektoren insbesondere in der Bergephase von Metallteilen, da sie unabhängig vom Störfeld – zum Beispiel eines Baggers – ständig zur Steuerung der Grabarbeiten einsetzbar sind.

Im Bereich alter und wenig bekannter Deponieareale sollten in der Erkundungsphase unbedingt auch radiometrische Kontrollmessungen erfolgen.

Einflüsse besonders hydrologischer Natur auf das Umland, wie zum Beispiel das Auftreten einer Abströmfahne, sind theoretisch ebenfalls ohne Bodeneingriffe mittels geoelektrischer Kartierungen nachweisbar. Die Grundlage dafür bildet der beschriebene Zusammenhang zwischen den Widerstandswerten von Formation und Formationswasser sowie dem matrixbeschreibenden Widerstandsfaktor. Prinzipiell müßte sich eine Abströmfahne als Widerstandsminimum gegenüber dem ungestörten Umland abzeichnen. Praktische Feldversuche zu dieser Problematik sind geplant.

Zum Problemkreis der Sanierung von Altlasten sind unter anderem auch in situ-Sohlabdichtungen in Diskussion (MESECK, 1985). Als wesentlich erscheint aus Sicht

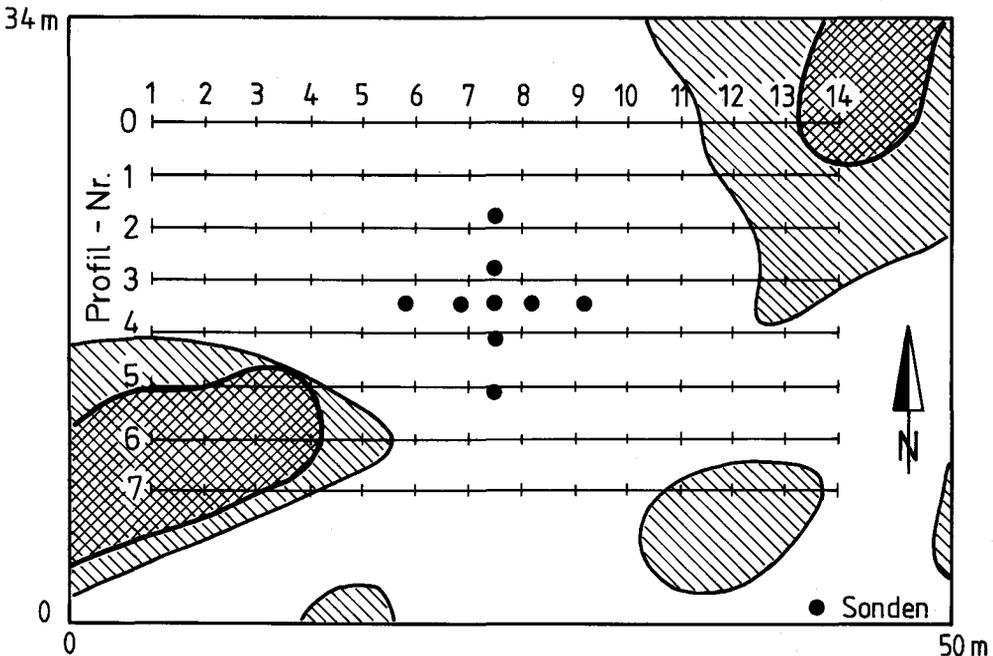


Abb. 5: Situationsplan eines Feldversuches zum Nachweis des Infiltrationserfolges von Bentonitsuspension im Sohlbereich der Mülldeponie nach Abb. 2; die kreuzschraffierten Flächen markieren geomagnetisch nachgewiesene Positionen von Autowracks.

der Geophysik dabei der meßtechnische Nachweis des Abdichtungserfolges, der aus ökonomischen Gründen zumindest zum Teil ohne Bodeneingriffe möglich sein muß. Auch dazu liegen aus den letzten Jahren schon einige Versuchsergebnisse vor.

Die Abb. 5 zeigt ein Versuchsfeld für die Infiltration von Bentonitsuspension in den Sohlbereich der in den Abb. 2 und 3 gezeigten Deponie. Dabei sollte durch geophysikalische Messungen die Verteilung der Suspension kontrolliert werden. Durch Anwendung der geoelektrischen Dipol-Dipol-Kartierungstechnik mit 3 m Elektrodenabstand und Dipolseparationen von $n = 1-6$ vor und nach der Infiltration, konnte dieses Problem gelöst werden.

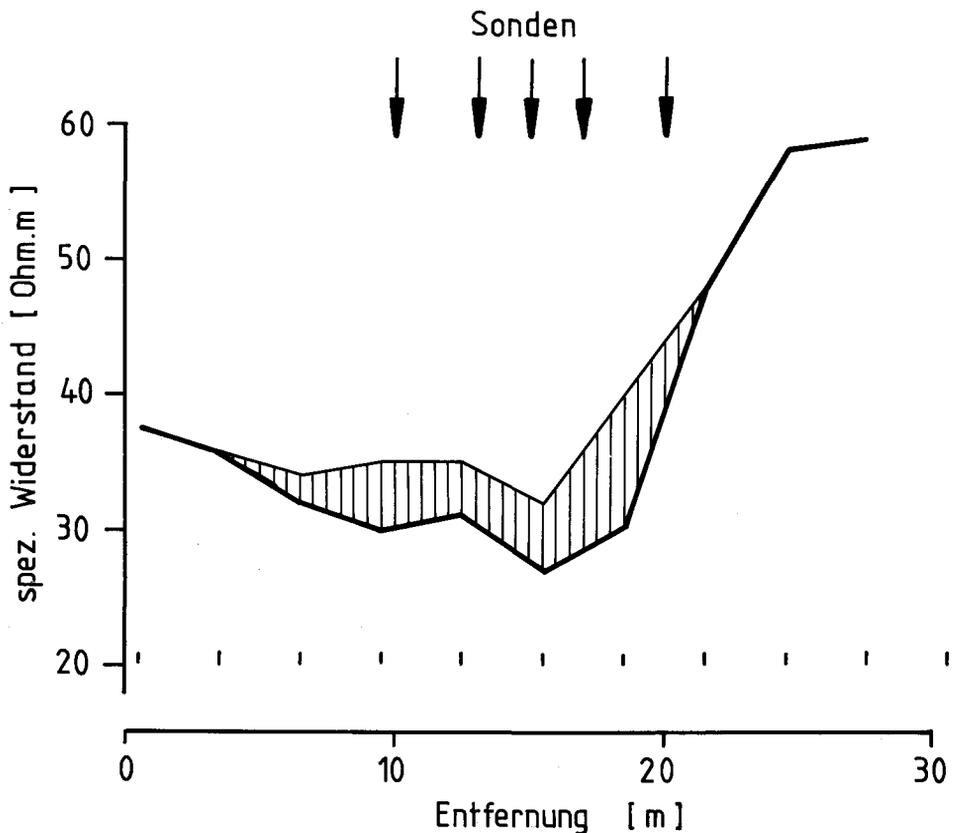


Abb. 6: Auswirkungen der Bentonitinfiltation auf den gemessenen Formationswiderstand (dünne Linie Meßwerte vor, dicke Linie nach der Infiltration); Dipol-Dipol-Kartierung, Elektrodenabstand $a = 3$ m, Dipolseparation $n = 5$.

Das Meßprofil in Abb. 6 zeigt, daß infolge des niedrigen spezifischen Widerstandes der Bentonitsuspension durch die Infiltration eine Absenkung des spezifischen Formationswiderstandes im Ausmaß von etwa 10% erfolgt, wodurch die Infiltrationszone meßtechnisch nachzuweisen ist. Der Isoohmenplan der Abb. 7 zeigt eine etwa elliptische Minimumzone nach der Infiltration, wobei die große Hauptachse charakteristischer Weise im Streichen der ehemaligen Vorschüttrichtung der Depo-

nie verläuft. Aufgrund des positiven Ergebnisses sollen diese Versuche weitergeführt werden.

Die Erkundung des Untergrundes von neu zu errichtenden Deponien entspricht grundsätzlich einem klassischen Prospektionsproblem der Ingenieurgeophysik, allerdings erweitert um die Methodik der Mikrogeophysik. Da bei an und für sich dichtem Untergrund die Frage nach der lateralen Homogenität im Vordergrund

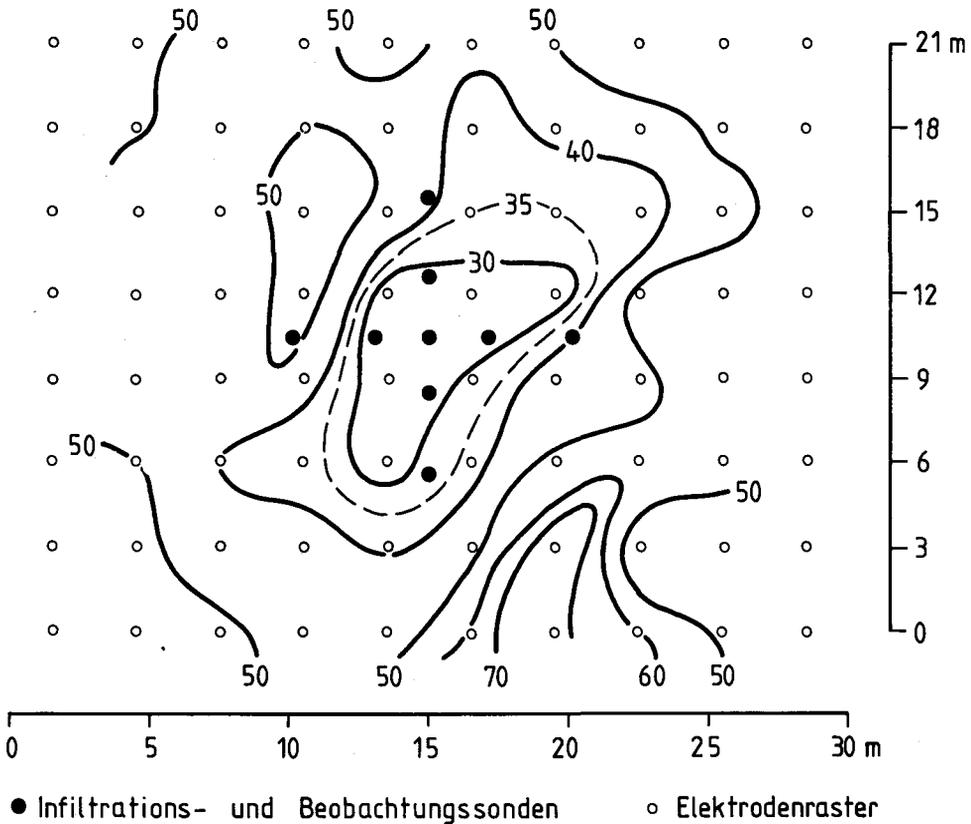


Abb. 7: Isoohmenplan des Testfeldes nach Abb. 5 nach erfolgter Infiltration (Dipol-Dipol-Kartierung, $a = 3 \text{ m}$, $n = 5$).

steht, ergibt sich bei den anzuwendenden Standardmethoden Refraktionsseismik und Widerstandskartierung der Nachteil, daß die Meßwerte nur für diskrete Punkte des Untergrundes gültig sind und der dafür verantwortliche Meßpunktsabstand nicht beliebig verkleinert werden kann. Dieser Nachteil kann durch Anwendung von Methoden mit elektromagnetischer Ankoppelung an den Untergrund eliminiert werden – nach diesem Gesichtspunkt wären daher zum Beispiel Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Bodenradartechnik zu forcieren.

Untersuchungen im Bereich von alten Baufflächen, insbesondere von Industriearealen, haben mit der Deponieerkundung vieles gemeinsam. Erst in jüngster Zeit

haben FIGDOR (1986) und ROCH (1986) eine detailliert durchgearbeitete Fallstudie, die mittels Gravimetrie und Refraktionsseismik gestützt auf Bohrerergebnisse bearbeitet wurde, über die Wienerberger Gründe publiziert, deren Studium dem an der Materie Interessierten nur empfohlen werden kann. Daher wird auf dieses Teilgebiet nicht näher eingegangen.

4. Schlußbetrachtungen

In den vorhergegangenen Kapiteln wurde versucht, die Möglichkeiten und Grenzen der angewandten Geophysik im Problemkreis Umweltschutz aus der Sicht des (zeitweilig) auf diesem Gebiet operativ Tätigen zu durchleuchten. Von diesem Standpunkt aus ist der Horizont sicher nicht weit genug, um das Problem in seiner Gesamtheit zu überblicken. Andererseits kann die Geophysik immer nur Hilfswissenschaft bei der Lösung der zentralen Probleme des Umweltschutzes sein und ist auf eine enge Kooperation mit den in vorderster Front damit befaßten Kollegen aus Theorie und Praxis angewiesen. Schon aus diesem Grund ist unbedingt die Forderung nach einem Gremium aufzustellen, das die erdwissenschaftlichen Aspekte des Umweltschutzes umfassend diskutiert, analysiert und für die Organe des Staates exekutierbar aufbereitet.

Literatur

- AITKEN, M. J.: Magnetic prospecting. The Water Newton survey. – *Archaeometry*, 1, 24–26, 1958.
- ALTENMÜLLER, G. H.: Neue Technologien gegen alte Müllhalden. – *VDI-Nachr.*, Nr. 14, 1986.
- ANDERS, W.: Zur methodischen Basis der geophysikalischen Hohlraumerkundung. – *Neue Bergbautechnik*, 2, 12–17, 209–215, 1970.
- ARZI, A. A.: Microgravimetry for engineering applications. – *Geoph. Prosp.*, 23, 408–425, 1975.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE: Mit Forschung und Technologie dem „Altlasten-Müll“ an den Kragen. – *Pressemitteilung*, Bonn 1986.
- FAJKLEWICZ, Z.: Gravity vertical gradient measurements for the detection of small geologic and anthropogenic forms. – *Geophysics*, 41, 1016–1030, 1976.
- FIGDOR, H.: Gravimetrische Untersuchungen des zur Bebauung vorgesehenen Areal der Wiener-Berg-Gründe. – *Österr. Ing. Archit. Z.*, 131, 12–20, 1986.
- KOFLER, H.: Schottergrube und Natur, Planung für die Rekultivierung. – *Prospekt und pers. Mitt.*, Graz 1986.
- LAUTERBACH, F.: Mikromagnetik – ein Hilfsmittel geologischer Erkundung. – *Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Leipzig, math.-natw. Reihe*, 3, 233–238, 1954.
- MESECK, H.: Ist die Sanierung von Altlasten technisch möglich? – Eine Scharte wird ausgewetzt. – *Entsorgungspraxis*, 82–88, 1985.
- MILITZER, H., SCHÖN, J., STÖTZNER, U. & STOLL, R.: *Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau*. – VEB Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie, Leipzig 1978.
- MILITZER, H. & WEBER, F. (Hrsg.): *Angewandte Geophysik, Band 1 – Gravimetrie und Magnetik*. – Springer-Verlag, Wien–New York, 1984.
- MILITZER, H. & WEBER, F. (Hrsg.): *Angewandte Geophysik, Band 2 – Geoelektrik – Geothermik – Radiometrie – Aerogeophysik*. – Springer-Verlag, Wien–New York, 1985.
- MILITZER, H., SCHÖN, J. & STÖTZNER, U.: *Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau*. – VEB Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie, Leipzig 1986.
- OWEN, T. E.: Detection and mapping of tunnels and caves. – (In:) A. A. FITCH (Hrsg.): *Developments in geophysical exploration methods*, 5, 161–258, Applied Science Publishers, London–New York, 1983.

- PRESSLINGER, H., EIBNER, C., GRUBER, A. & WALACH, G.: Geophysikalische, montanarchäologische und metallurgische Untersuchungsergebnisse von bronzezeitlichen, ostalpinen Kupferhütten. – Berg- u. hüttenmänn. Monh. 131, 225–230, 1986.
- RAMSKOGLER, K.: Waldbauliche Beurteilung der Gasteiner Schipisten Dorfgastein, Schloßalm und Stubnerkogel mit Schlußfolgerungen für Planung, Bau und Betrieb von Schiabfahrten im Bergwald am Beispiel des Erschließungsprojektes Angertal–Kartheisenwald–Gadauner Hochalm. – Unveröff. Diss. Inst. Waldbau, Univ. f. Bodenkultur, Wien 1986.
- ROCH, K.-H.: Refraktionsseismische Sondierung in einem Teilbereich des zur Bebauung vorgesehenen Areals der Wiener-Berg-Gründe. – Österr. Ing. Archit. Z., 131, 20f., 1986.
- SCHLUMBERGER – Log interpretation charts, Edition 1972.
- WALACH, G.: Überprüfung 1972 durchgeführter Erschütterungsmessungen im Werk Deuchendorf der VEW, unter Berücksichtigung der veränderten Verhältnisse (Ersatz des geplanten Gegenschlaghammers durch eine Spindelpresse). – Unveröff. Bericht, Leoben-Kapfenberg 1979.
- WALACH, G.: Refraktionsseismische Untersuchungen im Bereich des geplanten Schmiedepressenstandortes im Werk Deuchendorf der VEW. – Unveröff. Bericht, Leoben-Kapfenberg, 1980.
- WALACH, G.: Aufgaben und Ziele der Geophysik im Rahmen der montanarchäologischen Forschung in der Nördlichen Grauwackenzone (Raum Paltental–Gesäuse). – Berg- u. hüttenmänn. Monh., 128, 135–137, 1983.
- WALACH, G.: Beiträge der angewandten Geophysik zur Erkundung des Naturraumes im Bereich geplanter Schipisten. Fallstudie Gasteinertal (Kartheisenwald), Salzburg. – Unveröff. Bericht, Leoben, 1984 (Publ. in Vorb.).
- WALACH, G.: Geoelektrische und geomagnetische Versuchsmessungen auf einer Mülldeponie im Raum Gänserndorf, NÖ. – Unveröff. Bericht, Leoben 1984 a.
- WALACH, G.: Möglichkeiten der Hohlraumerkundung mittels gravimetrischer Methoden. – Festschrift 80 Jahre Institut für Markscheidekunde, Leoben, 1985.
- WALACH, G.: Widerstandsgeoelektrische Kontrollmessungen bei einem Infiltrationsversuch zur Sohlenabdichtung mit Bentonitsuspension auf einer Mülldeponie. – Unveröff. Bericht, Leoben, 1985 a.
- WALACH, G.: Geomagnetische Bodensondierungen zum Nachweis von vergrabenen Eisenteilen. – Unveröff. Berichte, Leoben, 1986.
- WEBER, F.: Erschütterungsmessungen und geophysikalische Baugrunduntersuchungen im Werk Deuchendorf der VEW. – Unveröff. Bericht, Leoben, 1972.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 8. Juli 1986