Georadar : der zerstörungsfreie Blick in den Untergrund : Beispiele aus dem Naturschutzgebiet Zigermoos, Unterägeri/ZG und der Deponie Riet, Winterthur/ZH

Autor(en): **Meier, E. / Stäubli, P. / Müller, B.U.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **7 (2002)**

Heft 1

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-223644

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bull. angew. Geol.	Vol. 7	Nr. 1	S. 31 - 44	Juli 2002

Georadar – der zerstörungsfreie Blick in den Untergrund: Beispiele aus dem Naturschutzgebiet Zigermoos, Unterägeri/ZG und der Deponie Riet, Winterthur/ZH

mit 13 Figuren und 1 Tabelle

E. MEIER[1], P. STAUBLI[2], B. U. MÜLLER[3], J. STÜNZI[4], E. SCHUBERT[1], D. DUBOIS[1]

Stichworte/Keywords

Georadar, Leitungsortung, Geotechnik, Hochmoor, Torfmächtigkeit, Regeneration, Naturschutz, Erkundung, Remote Sensing

Zusammenfassung

Die Untersuchung des Bodens durch mechanischen Aufschluss ist oft nicht ohne weiteres möglich oder durch gesetzliche Vorgaben unzulässig.

Mit Hilfe der geophysikalischen Messmethode «Georadar» kann der Boden zerstörungsfrei, d.h. ohne teure und störende Sondierungen untersucht werden. Die nachfolgend beschriebenen Beispiele zeigen die erfolgreiche Georadar-Anwendung bei zwei unterschiedlichen Projekten: Im Hochmoor Zigermoos, einem kantonalen Naturschutzgebiet bei Unterägeri/ZG und bei der Deponie Riet in Winterthur/ZH.

Im Rahmen des Hochmoor-Regenerationsprojektes Zigermoos des Kantons Zug sollte als einer von verschiedenen moorspezifischen Parametern die Torfmächtigkeit zerstörungsfrei und effizient erfasst werden. Zudem sollte die Eignung des eingesetzten Gerätes in einem eher schwierigen Gelände getestet werden, da weitere Projekte mit ähnlichen Bedingungen, aber weit grösserer Fläche zur Untersuchung anstehen. Im Gegensatz zum Zigermoos-Projekt, wo mit den verbliebenen Torfmächtigkeiten grossräumige Strukturen zu orten waren, wurden bei der Deponie Riet Drainage-Rohre, also verhältnismässig kleine Objekte, gesucht.

Bei beiden Projekten musste ausserhalb der Vegetationsperiode gemessen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass starker Bewuchs der Oberfläche, topografische Unebenheiten, grosse Kälte mit Eis und Schnee sowie grosser Feuchtigkeitsgehalt des Bodens kein Hindernis für Georadarmessungen sein müssen. Weit wichtiger ist die sorgfältige Planung solcher Untersuchungen, da der Zeitpunkt und damit auch die Umgebungs- und Messbedingungen, oft entscheidend sind für Erfolg oder Misserfolg einer Radarmessung.

Die ausgewählten Beispiele sollen aufzeigen, welche Randbedingungen für erfolgreiche Radaruntersuchungen zu beachten und welche Resultate zu erwarten sind.

[1] Edi Meier + Partner AG, Hard 4, 8408 Winterthur
[2] Beck & Staubli – Umweltmanagement Naturschutzberatung, Seestr. 12, 6315 Oberägeri
[3] CSD Ingenieure und Geologen AG, Schachenallee 29, 5000 Aarau
[4] Stadt Winterthur, Departement Tiefbau

Résumé

L'exploration mécanique du sol n'est souvent possible qu'avec des moyens importants ou inadmissible d'un point de vue légal.

Grâce au Géoradar, méthode de mesure géophysique, le soubassement peut être exploré de manière non-destructive, c'est à dire sans sondages destructifs et à moindres frais. Les exemples cités ci-dessous démontrent l'utilisation du Géoradar dans deux projets différents – dans le haut-marais de Zigermoos, appartenant à une zone de protection de la nature à Unterägeri/ZG, et dans la décharge de Riet à Winterthur/ZH.

Dans le cadre du projet de régénération du marais de Zigermoos (canton de Zoug), l'extension en profondeur du marais était l'un des nombreux paramètres à analyser, et ceci de manière non-destructive et efficace. De plus, l'efficacité de l'appareillage devait être démontrée en terrain difficile, ceci en vue de projets futurs, aux conditions identiques, mais sur de plus grandes étendues. Au contraire de Zigermoos où de grandes structures comme l'extension de la tourbe devaient être localisées, ce sont des tuyaux de drainage, donc des structures relativement petites, qui ont été recherchées dans la décharge de Riet.

Pour ces deux projets, les mesures ont été réalisées en dehors de la période de végétation. Les résultats montrent qu'une végétation importante, qu'une topographie irrégulière, que des périodes froides avec de la neige et de la glace ainsi qu'une grande teneur en humidité du sol, ne font pas nécessairement des obstacles au bon déroulement des mesures. Toutefois, une planification minutieuse de ce type de mesure est très importante. En effet, le moment choisi, l'environnement ainsi que les conditions de mesures influent grandement sur le résultat des mesures faites au Géoradar.

Les exemples présentés illustrent les conditions extrêmes à une bonne exécution des recherches au Géoradar, ainsi que les résultats espérés.

1. Einleitung

Zur Erkundung oberflächennaher Formationen werden häufig Baggerschlitze herangezogen, wo dies nicht möglich ist, wie zum Beispiel in Naturschutzgebieten, müssen oft zahlreiche Bohrstocksondierungen von Hand vorgenommen werden. In vielen Fällen können diese aber nicht durchgeführt werden, z.B wenn die gesuchte Struktur zu tief liegt. In solchen Fällen ist es wertvoll, zerstörungsfreie, geophysikalische Messmethoden als Hilfsmittel beizuziehen. Die Auswahl der Methode hängt nicht nur von der Aussicht auf Erfolg ab, sondern auch, und in ganz besonderem Masse von der praktischen und der finanziellen Machbarkeit. Die frühzeitige Planung ist oft entscheidend für die erfolgreiche Georadarerkundung.

In den beiden nachfolgend beschriebenen Projekten wurde das Georadarverfahren ausgewählt, eine auf der Reflexion elektromagnetischer Wellen basierende, geophysikalische Messmethode.

2. Projekte und Untersuchungsziele

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie im Zigermoos bei Unterägeri/ZG sollten mittels Georadarverfahren (engl. Ground Penetrating Radar = GPR) die verbliebenen Torfmächtigkeiten in diesem stark verbuschten bzw. teilweise bewaldeten Hochmoor gemessen werden. Nach der teilweisen Ausbeutung des Torfes vor allem in den Kriegsjahren sind ganz unregelmässig angeordnete Restinseln von Hochmoortorf stehengeblieben. Ermutigt durch die Pilotstudie im Neugrundmoor bei Menzingen/ZG war es hier ebenfalls das Ziel, eine beträchtliche Einsparung an manuellen Bohrstocksondierungen realisieren zu können. Zudem können mit der GPR-Methode kontinuierliche Mächtigkeitsprofile gezeichnet werden und bei

genügender Profildichte, wie im Fall Zigermoos geplant, sollten sogar dreidimensionale Mächtigkeitskarten erstellt werden.

Weiter ging es auch darum die Grenzen der Methode auszuloten, stellten doch der starke Bewuchs und das stark modellierte Gelände im Zigermoos bedeutend höhere Anforderungen an die Messapparaturen als dies im Neugrundmoor der Fall war. Diese Georadar-Sondierung entstand auf Anregung und unter Betreuung von Peter Staubli. Sie ergänzte die damals bereits laufenden Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Ausarbeitung eines Regenerationsprojektes durchgeführt wurden. Die Auftragserteilung und die Finanzierung erfolgte durch das Amt für Raumplanung des Kantons Zug.

Ausgeführt wurden die hier dokumentierten Feldarbeiten unter den erwähnten erschwerten Bedingungen mit einem tragbaren GPR-System.

2.1 Hochmoor Zigermoos

Der Kanton Zug ist bezogen auf die Grösse seiner Fläche mit Abstand der hochmoor-reichste Kanton der Schweiz. Neben dem rechtlichen Schutz der Moore, deren Pflege der Kanton Zug durch vertragliche Regelungen sicher stellt, engagiert er sich seit 1990 in der Wiederherstellung beeinträchtigter Hochmoore (vgl. Tab. 1). Das Vorgehen ist bei allen sieben Hochmoor-Regenerationsprojekten, die sich in verschiedenen Stadien der Umsetzung befinden, das selbe. Nach Information der

MOORBEGRIFFE	
Moore:	Moore sind von Wasser geprägte Lebensräume (Biotope), in denen ständig oder zum überwiegenden Teil des Jahres ein Wasserüberschuss herrscht. Der erschwerte Wasserabfluss über einem wenig durchlässigen Untergrund führt zu einem Sauerstoffmangel im Boden, welcher die Zersetzung abgestorbener Pflanzen hemmt. Das tote Pflanzenmaterial häuft sich in Form von Torf an. Im Gegensatz dazu bezeichnet man einen mineralischen Nassboden ohne Torfauflage als Sumpf.
Hochmoor:	Moor, dessen obere, von den lebenden Pflanzen durchwurzelte Torfschicht vorwiegend oder ausschliesslich aus Niederschlagswasser versorgt wird und vom mineralischen Grundwasser isoliert ist. Dieser extreme Standort zeichnet sich durch einen minimalen Gehalt an Nährstoffen und Sauerstoff sowie durch einen hohen Säuregehalt und einen hoch liegenden Grundwasserspiegel aus.
Regeneration:	Natürliche oder durch künstliche Massnahmen eingeleitete Erholung beeinträchtigter Biotope (Prozess). Die Regeneration eines Hochmoores beispielsweise zeigt sich an dem wieder einsetzenden Wachstum der Torfmoose, der Ausbreitung hochmoortypischer Pflanzen- und Tierarten sowie an der erneuten Torfbildung.

Tab. 1: Erläuterungen und Definitionen zum Thema Moor.

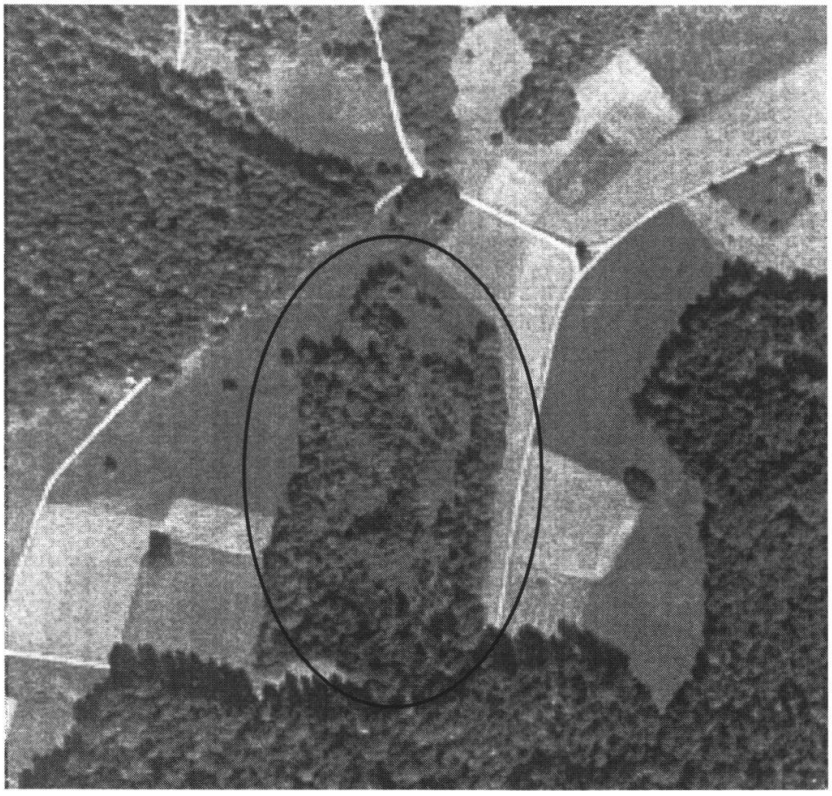

Fig. 1:
Luftbild vom 3.9.1999: Das Hochmoor Zigermoos ist fast vollständig verwaldet.
(Foto: Amt für Raumplanung des Kantons Zug)

Grundeigentümer werden die für den Moortyp wesentlichen Parameter erfasst, die Daten ausgewertet und in Form eines Berichts mit Zielsetzungen und Massnahmen dargestellt. Danach erfolgt die Umsetzung, welche sich, bedingt durch den spezifischen Lebensraum Hochmoor, in der Regel über Jahre erstreckt.

Nachdem sich im Naturschutzgebiet Neugrundmoor, Gemeinde Menzingen/ZG für die Erfassung der Torfmächtigkeit der Einsatz eines Georadar-Gerätes bewährt hatte, kam im teilweise abgetorften, coupierten und verbuschten Zigermoos (Fig. 1) ebenfalls ein Georadargerät (allerdings eines anderen Herstellers) zum Einsatz, welches bei einem guten Verhältnis von Aufwand und Ertrag beste Ergebnisse lieferte.

Das Hochmoor von nationaler Bedeutung Zigermoos (LK: 222'000/684'600) befindet sich am Nordostende des Zugerberges, ziemlich genau auf der Verbindungslinie zwischen Unterägeri und Zug. Es liegt auf rund 765 m.ü.M. in einer flachen, glazial überprägten und mit Moränenmaterial ausgekleideten, N-S verlaufenden Mulde. Unter der Moräne folgen die subalpin schräggestellten Nagelfluh-Schichten der Unteren Süsswassermolasse (USM).

Die Moorbildung im Zigermoos dürfte im Zusammenhang mit dem Vorrücken und Aufbau eines Bachschuttfächers stehen, der das südliche Ende der Moränensenke verschloss und damit einen Grundwassereinstau provozierte. Der Schuttfächer bezog sein Material aus den westlich des Moores gelegenen Hügeln und dürfte vor allem im Spätglazial seine stärkste Aktivität entfaltet haben.

Der vorhandene Bewuchs des Moors mit Bäumen und Buschwerk sowie die, durch den Torfabbau unruhige Topografie hatten ausser einem erhöhten Messaufwand keine nachteiligen Folgen.

2.2 Deponie Riet: Sauberes Drainagewasser als Kostenfaktor

Der ältere Teil der Deponie Riet mit knapp 30 m Höhe und 0.8 Mio. m^3 Volumen wird als Stinkberg bezeichnet. Es handelt sich um eine Reaktordeponie, die aber nicht den heutigen Anforderungen (TVA) entspricht, da sie über keine Sohlenabdichtung verfügt. Der heute rekultivierte Hügel wird landwirtschaftlich genutzt (Fig. 2).

Die ersten Ablagerungen in der Deponie Ried reichen ins Jahr 1959 zurück. Die Abfälle wurden ohne technische Abdichtungsmassnahmen ins damalige Riedgebiet geschüttet. Der lehmige, wenig durchlässige Untergrund bildet hier vorderhand eine Art natürliche, allerdings heterogene Abdichtung.

Dabei wirken die Tonmineralien bis zu einem gewissen Grad schadstoffabsorbierend. An sich wäre zu erwarten, dass belastetes Deponiesickerwasser unterhalb und seitlich des alten Deponiehügels ins Grundwasser versickert und dieses verunreinigt. Dies wird jedoch durch den günstigen Umstand verhindert, dass hier Grundwasser aus dem Untergrund aufstösst. Die 1971 angelegte Ringdrainage um den Hügel nimmt sowohl das Deponiesickerwasser als auch seitlich anströmendes Meteor- und Grundwasser auf und leitet es in die Kanalisation. Dies verursacht für die Deponie erhebliche Abwasserkosten. Die Ableitung von unbelastetem Wasser in die Kanalisation ist unsinnig und sollte möglichst unterbunden werden (Fremdwasserelimination).

Aufgrund alter Meliorationspläne war angenommen worden, dass Drainagerohre, die ursprünglich zur Trockenlegung und landwirtschaftlichen Nutzbarmachung des Riedgebietes angelegt wurden, von aussen unter den Deponiekörper durchführen. Man muss davon ausgehen, dass sich dadurch sauberes Umgebungswasser mit dem Deponiesickerwasser vermischt und in die Kanalisation abfliesst.

Die alten Drainagepläne erwiesen sich als ungenau, unvollständig und z.T. widersprüchlich. Deshalb wurde versucht, die fraglichen Leitungen mit Georadar zu orten.

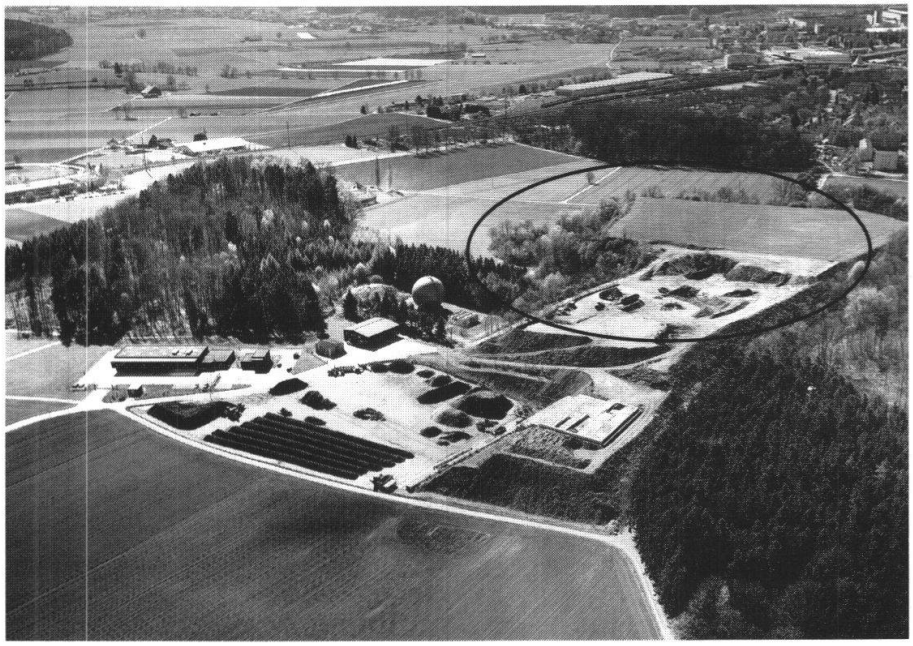

Fig. 2:
Gesamtansicht der Deponie Riet, Winterthur. Der alte, rekultivierte Deponieteil („Stinkberg", Markierung rechts im Hintergrund), verfügt über keine Basisabdichtung (Foto: Departement Bau, Stadt Winterthur).

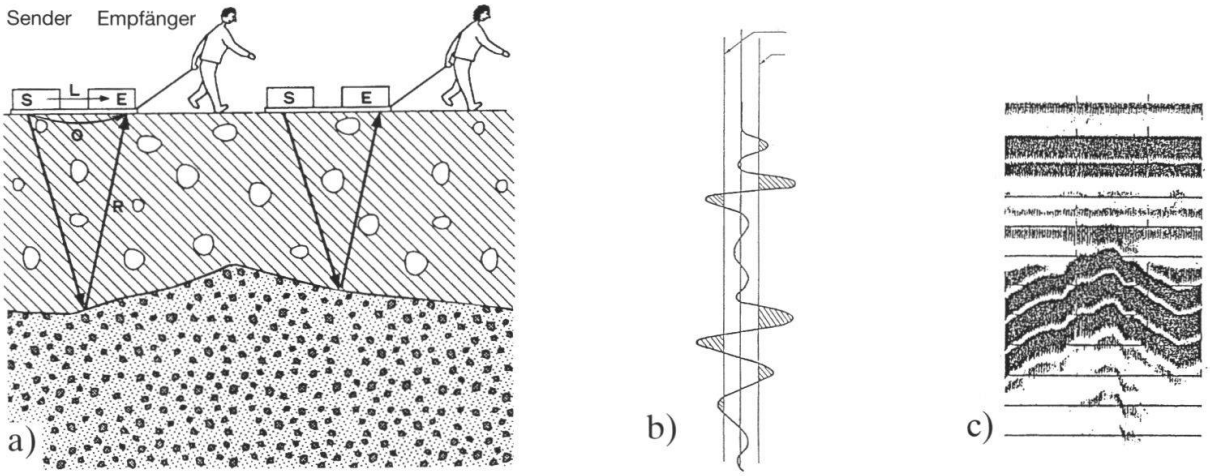

Fig. 3: Schematische Darstellung des Kartierungsvorganges mit Georadar (aus: Meier und Huggenberger 1992):
a) Sende-und Empfangsantenne werden als Einheit längs einer Profillinie gezogen.
b) Einzelspur: Empfangssignal.
c) Radargramm = Abfolge von Einzelspuren längs der Profillinie.

3. Das Georadar Messprinzip

Das Georadarverfahren erlaubt es, ohne Grabungen die Struktur des Untergrundes in einem Tiefenbereich von wenigen Zentimetern bis (im Idealfall) ca. 30 m zu untersuchen. Stark vereinfacht kann man sagen, dass das Georadar Unterschiede in der Leitfähigkeit des Untergrundes als räumliches Abbild wiedergibt.

Die Messapparatur besteht im Wesentlichen aus einer Sende- und einer Empfangsantenne. Beide Antennen sind mobil und werden für die Messung über den zu untersuchenden Untergrund bewegt. Von der Sendeantenne wird ein Radarimpuls in den Boden ausgesandt. Dieser Radarimpuls wird von im Boden vorhandenen Grenzflächen (Leitfähigkeitsunterschied zwischen Schichten) reflektiert und das «Echo» von der Empfangsantenne als sogenannte «Spur» aufgezeichnet (Fig. 3).

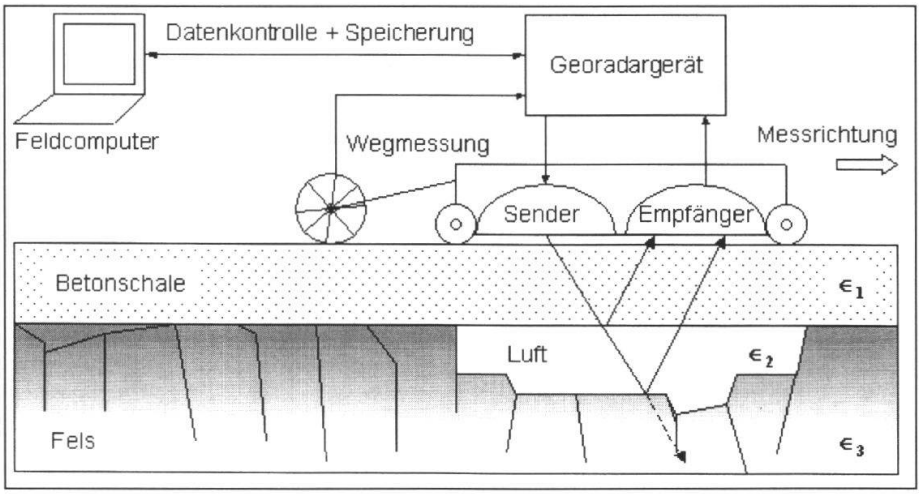

Fig. 4: Georadarverfahren mit weitgehend automatisierter Messwertaufnahme.

Fig. 5: Positionierung der Georadarantennen mit differentiellem GPS beim Bergsturzgebiet Chapf, Innertkirchen (ETH Zürich, Geodätischer Projektkurs).

Die Laufzeit zwischen Senden und Empfangen des Impulses wird in die entsprechende Tiefenlage des Reflektors umgerechnet. Das Ergebnis solch einer Messung wird als Radargramm bezeichnet und erinnert visuell an einen geologischen Aufschluss. Natürlich gibt ein Radargramm keine Auskunft über das Material selbst. Diese Information muss mit Hilfe von Bohrungen oder ähnlichen Aufschlussmethoden gewonnen werden. Eine Georadarmessung steht also nie für sich selbst, sondern muss stets mit weiteren Informationen ergänzt werden.

Die Genauigkeit, mit der das Georadarverfahren räumliche Strukturen des Untergrundes auflösen kann, hängt von der Antennenfrequenz ab, die in der Regel zwischen 50 MHz bis 1000 MHz wählbar ist. Antennen mit 1000 MHz werden fast ausschliesslich in der zerstörungsfreien Prüfung des Bauwesens eingesetzt.

Die Feldausrüstung besteht neben Sende- und Empfangsantenne aus der Georadar Kontrolleinheit und einem Feldcomputer (Fig. 4). Über ein präzises Wegmessrad werden jeweils gleichabständige Messungen ausgelöst. Je nach Fragestellung und geforderter Genauigkeit wird auch mit GPS Empfängern (Fig. 5) oder aber mit einem herkömmlichen Messband gearbeitet.

Schneidet ein Messprofil ein Rohr, so bildet sich dieses als hyperbelförmige Struktur in den Radargrammen ab. Der Grund dafür ist die halbkugelförmige Ausbreitung der Radarwellen im Untergrund. Die Empfangsantenne zeichnet deshalb vor und nach der tatsächlichen Lage des Rohres entsprechende Echos auf. Die richtige Position des Rohres liegt beim Scheitelpunkt der Hyperbel, d.h. an jenem Ort, wo das Echo die kürzeste Laufzeit (Fig. 6) hat. Diese Hyperbeln sind in den Radargrammen sehr leicht zu erkennen und enthalten zudem Information über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwellen im Boden.

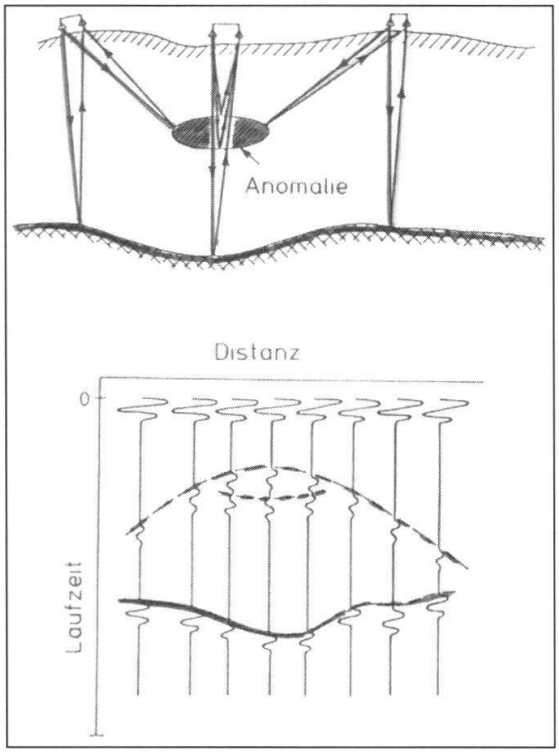

Fig. 6:
So entstehen „Hyperbelmuster" in den Radargrammen (Erklärung siehe Text).

4. Planung der Radaruntersuchungen

4.1 Zeitpunkt der Messung

Die kantonalen Gesetze über den Natur -und Landschaftsschutz geben generelle Schutzbestimmungen an. Für die gesamte Schweiz gilt - abgesehen von gebietsspezifischen, kantonalen Ausnahmeregelungen - in Moorgebieten und speziell in Streurieden (in der Regel gemähte Flachmoore), dass diese ab dem 1. September gemäht, also auch betreten bzw. befahren werden dürfen und diese Arbeiten dann bis spätestens März des folgenden Jahres abgeschlossen sein müssen. Dies ist auch die ideale Periode für die meisten anderen Arbeiten in Mooren. Auch bei landwirtschaftlichen Nutzflächen ist dies der optimale Zeitraum. Generell ist es aber auch ausserhalb von Naturschutzgebieten sinnvoll, Messungen nicht in der Vegetationsperiode durchzuführen.

Die Erfahrung im Neugrundmoor hat zudem gezeigt, dass eine geringmächtige Schneedecke die Messung mit den grossen, schlittenartig angeordneten 50 MHz-Antennen des SIR-3 erleichtert und zusätzlich dazu eine bessere Übertragung der Radarwellen in den Boden erreicht wurde.

4.2 Messtechnische Überlegungen

Messtechnische Zielsetzung im Hochmoor Zigermoos war die Bestimmung der Torfmächtigkeit durch Ortung der Moorbasisfläche. Da diese Basis gering wasserdurchlässig ist und das im Moor vorhandene Wasser nur einen geringen Mineralgehalt (Regenwasser) aufweist, war zu erwarten, dass die mineralische Basisfläche gut zu erkennen sein würde. Ferner wurde angenommen, dass die Basisfläche zumindest stückweise ebenflächig oder mässig gekrümmt ist. Einzelne schroffe Stufen und Sprünge sind für die Messung kein Hindernis. Die Abstände zwischen den

Einzelmessungen (Spuren) konnten daher verhältnismässig gross (hier 2 m) gewählt werden. Bei der Auswahl der Antennen entschieden wir uns für eine Arbeitsfrequenz von 100 MHz (Mittelfrequenz), obwohl die nächst grössere Antenne (50 MHz) vermutlich noch klarere Resultate gebracht hätte. Die Grösse der 50 MHz Antennen hätte jedoch bei den vorliegenden Bedingungen einen deutlich langsameren Arbeitsfortschritt bedeutet. Ursprünglich war vorgesehen, Profillinien in jeweils 25 m Abstand über das ganze Gebiet zu legen. Der vor allem in der Randzone des Moores starke, waldartige Bewuchs und Budgetüberlegungen diktierten dann aber parallele Profile von je 50 m Abstand.

Die messtechnische Zielsetzung bei der Deponie Riet war die Ortung eventuell vorhandener Drainagerohre. Das Material, aus welchem diese Leitungen bestehen, war nicht bekannt. Es musste jedoch davon ausgegangen werden, dass hauptsächlich Nichtmetalle (Steinzeug, Ton oder Kunststoff) verwendet wurden. Aus diesem Grund war grundsätzlich nur das Georadarverfahren erfolgversprechend. Im Gegensatz zur Messung im Zigermoos wiesen die hier gesuchten Strukturen nur eine sehr geringe Ausdehnung auf. Die Leitungen haben einen Durchmesser von weniger als 0.3 m. Daher mussten die Spurabstände deutlich kleiner sein als bei der Messung im Zigermoos. Es wurde mit einem Spurabstand von 20 cm, d.h. mit einer 10 mal dichteren Abtastung als im Zigermoos gearbeitet.

4.3 Durchführung der Messungen

Vorgängig zu den Messungen wurden alle zu messenden Profile vermessen und verpflockt, da beim vorliegenden Bewuchs die Orientierung und damit eine genau dem vorgegebenen Raster folgende Messung nicht möglich gewesen wäre. Selbst die Vermessung mit GPS funktionierte im Zigermoos wegen der Bewaldung nicht überall. Während der eigentlichen Georadarmessung wurde ein Messband durch das dichte Unterholz gezogen (Fig. 7), zwischen zwei Pflöcken gespannt und die Antennen einzeln positioniert. Teilweise konnte die Zentraleinheit mit Radarkonsole und Feldcomputer auf einer Schubkarre transportiert werden (Fig. 8). Häufig mussten aber wassergefüllte Gräben und Tümpel überquert werden. Alle 2 Meter wurde von Hand eine Messung ausgelöst. Im Gegensatz dazu war die Messwertaufnahme bei der Deponie Riet bedeutend einfacher als im Zigermoos. Die günstigen

Fig. 7: Georadar in unwegsamen Gelände: Antennenführer mit Messband (Foto: P. Staubli).

Fig. 8: Radarconsole mit Computer zur Datenerfassung (Foto: P. Staubli).

Fig. 9:
Feuchtwiese im Umfeld der Deponie Riet in Winterthur. Ein grosses Wegmessrad erlaubt eine rasche Georadar Datenaufnahme in einem engen Raster.

Umgebungsbedingungen (gemähte Wiese) liessen den Einsatz des Wegmessrades (Fig. 9) zu, was eine vollautomatische Messwertaufnahme in einem engen Raster erlaubte. Eine präzis «Weg-gesteuerte» Aufnahme der Spuren ist nicht nur vom Arbeitsfortschritt her gesehen anzustreben, sondern es erleichtert auch die spätere Dateninterpretation. Insbesondere bei Orten mit kleinräumigen Strukturen, wie etwa Rohrleitungen, ist es oft entscheidend, die typische Hyperbelform (vgl. Fig. 6) verfolgen und von anderen Reflektoren unterscheiden zu können.

5. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen kurz dargestellt. Aus Platzgründen sind hier nur typische Beispiele zu sehen.

In Figur 10 ist die ausgewertete Messung eines in West-Ost Richtung aufgenommenen Radargramms zu sehen. In dem Radargramm ist entgegen den Ausführungen in Abschnitt 5.2 (Abstände 2 m) der scheinbare Abstand zwischen den Einzelspuren nur 1 m gross. Für diese Darstellung wurde ein Data-Processing Schritt durchgeführt, bei dem aus zwei gemessenen Spuren jeweils eine Spur dazwischen interpoliert wird. Diese Technik erlaubt es die Reflektoren besser zu visualisieren, nachdem die eigentlichen Messungen bereits abgeschlossen sind.

Der Untergrund des Zigermooses besteht, wie aus der Morphologie in der näheren Umgebung geschlossen werden konnte, generell aus Grundmoräne. Einzig im Süden wird diese von Bachschutt überlagert. Diese mineralischen Basisschichten (Stauer) des Moores zeigen sich in den Radargrammen als deutlicher Reflektor.

Die Überlagerung der Topographie der Messlinien auf die Radargramme erlaubte zusammen mit der Geschwindigkeitsbestimmung im Medium Torf die Darstellung der jeweils oben dargestellten interpretierten Schnitte. Eichsondierungen mittels Bohrstock wurden erst nach dem Data-Processing und nur in den Kreuzungspunkten der Messlinien alle 50 m durchgeführt. Dies entspricht nur etwa 5 – 10 % der ohne Georadar normalerweise für eine solche Untersuchung benötigten (schweisstreibenden) Handsondierungen.

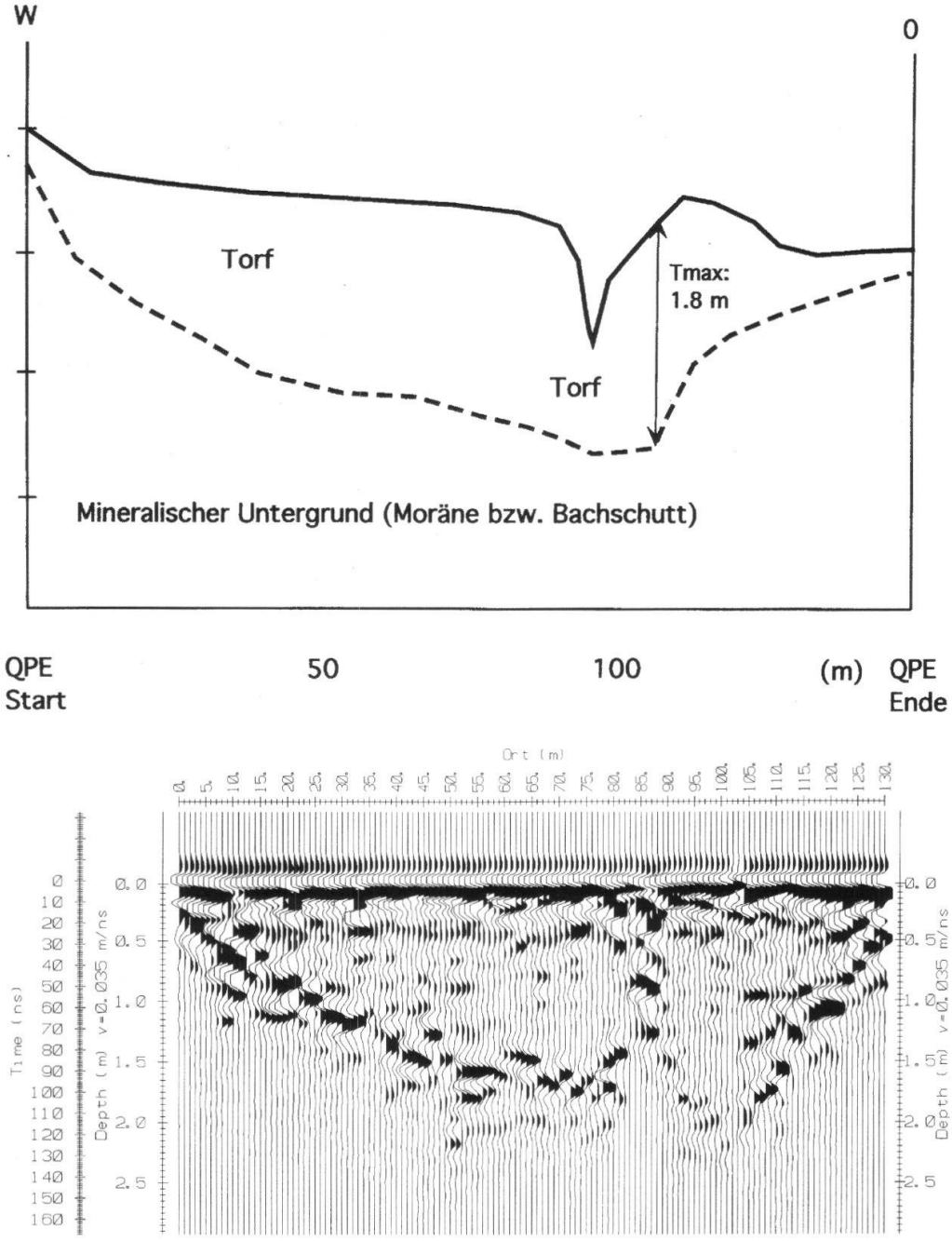

Fig. 10: Radargramm einer Messung (unten), das einen West-Ost Schnitt durch das Zigermoos darstellt. Die Basisfläche des Moors ist sehr gut zu erkennen. Im darüber liegenden Diagramm sind die Messdaten zusammen mit den Höhendaten in die Torfmächtigkeit umgewandelt worden.

Die Synthese der gesamten hier vorgestellten Untersuchung besteht aus einer Isopachenkarte der Torfmächtigkeiten, welche in Figur 11 dargestellt ist.

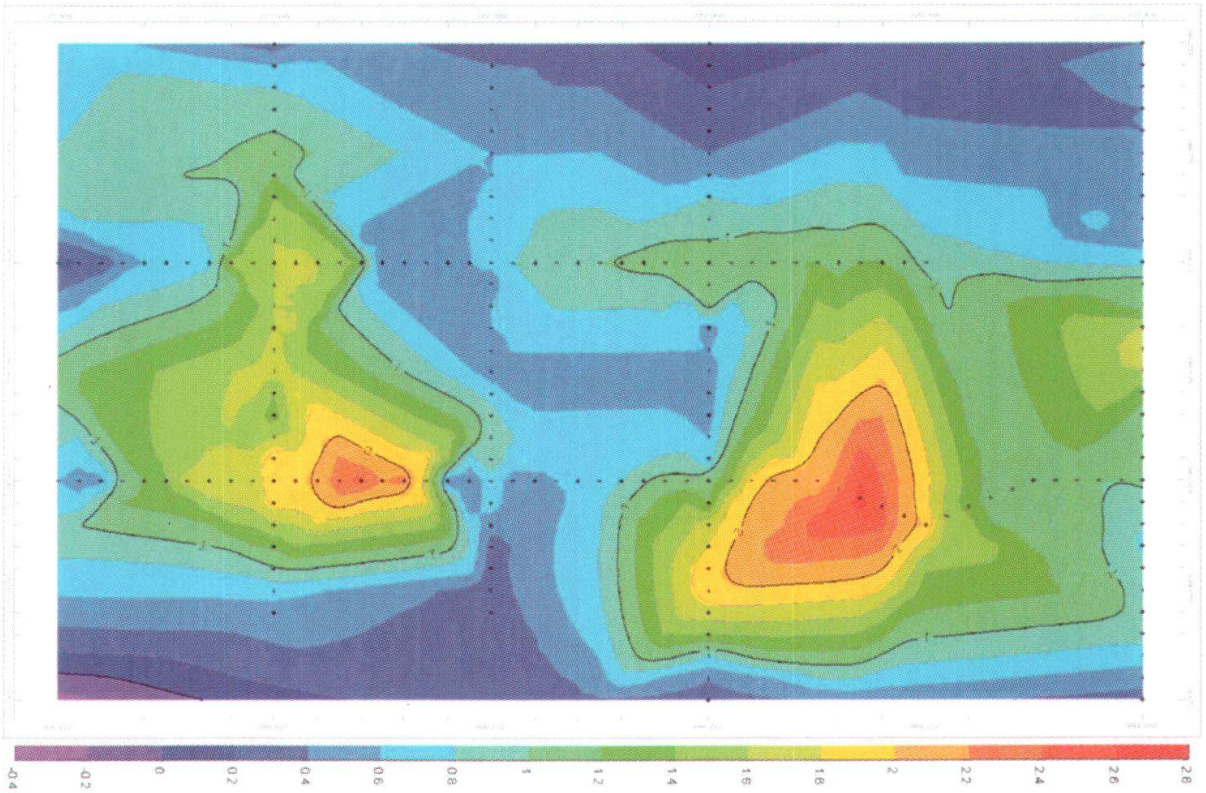

Fig. 11: Grafische Aufbereitung der Torfmächtigkeiten im Zigermoos.

In den folgenden beiden Bildern sind Ausschnitte der Messergebnisse im Riet zu sehen.

Sowohl in Figur 12 als auch in Figur 13 treten deutlich sichtbare Hyperbeln auf. Der Grund für die Entstehung von Hyperbeln in Radargrammen wurde in Figur 6 verdeutlicht. Die Geschwindigkeit v der Radarwellen von 8 cm/ns ergab sich aus den Hyperbelkrümmungen. Mit der Kenntnis von v lässt sich die Tiefe von Reflektoren bestimmen.

Die in Figur 12 abgebildete Hyperbel interpretierten wir zuerst als Drainagerohr in 1.25 m Tiefe, bei Profilmeter 46 (im Scheitelpunkt der Hyperbel). Die grosse Signalstärke, mit der sich dieses Objekt abbildete, liess allerdings gewisse Zweifel an dieser Interpretation aufkommen. Tatsächlich stellte sich später heraus, dass es sich dabei um eine stillgelegte Erdgasleitung handeln musste, von der anfänglich niemand etwas wusste. Da es sich dabei um ein Metallrohr handelt, erklärt sich auch die grosse Signalstärke. In Figur 13 hingegen sind 3 Signale zu erkennen, die den gesuchten Drainagerohren zugeordnet werden können. Während die Hyperbelform rechts im Bild eine eindeutige Zuordnung zulässt, bedarf die Interpretation der beiden anderen Formen noch an Erfahrung bei der Auswertung. Neben der Form ist nämlich auch der gleichmässige Abstand ein klares Indiz für die Drainageröhren. Ein weiteres Indiz ist auch die Störung der natürlichen Schichtung über den Rohren, die wohl auf die ursprünglichen Einbauarbeiten zurückzuführen sind.

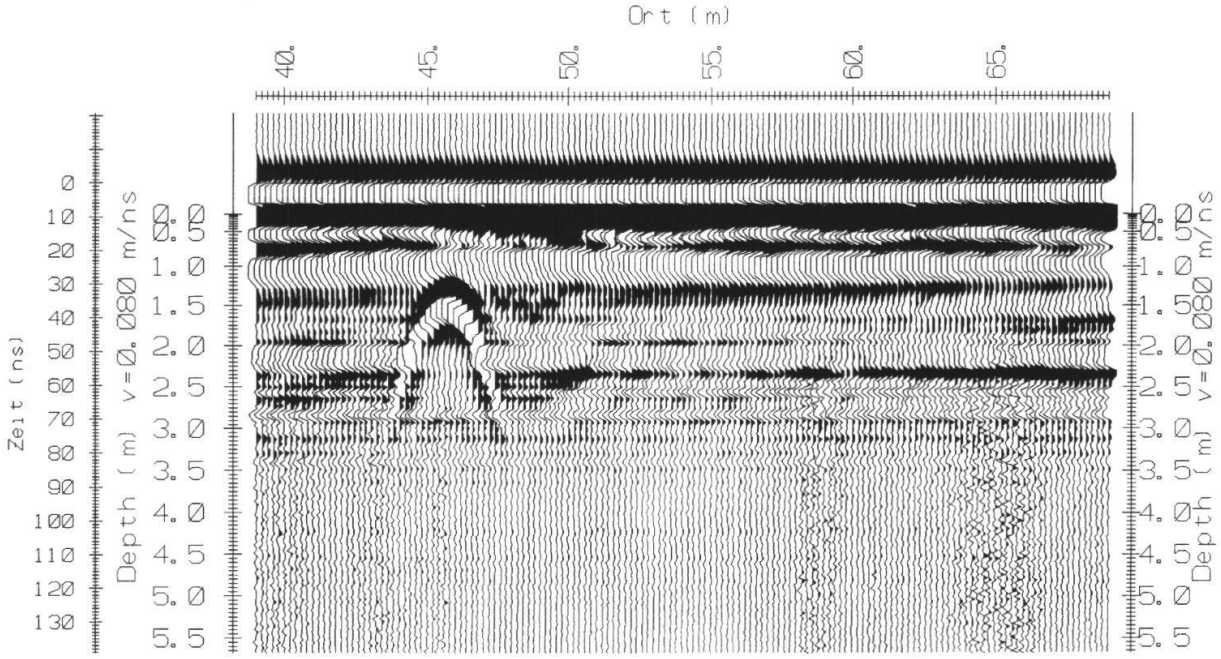

Fig. 12: Geortete Gasleitung (Hyperbel) bei der Deponie Riet.

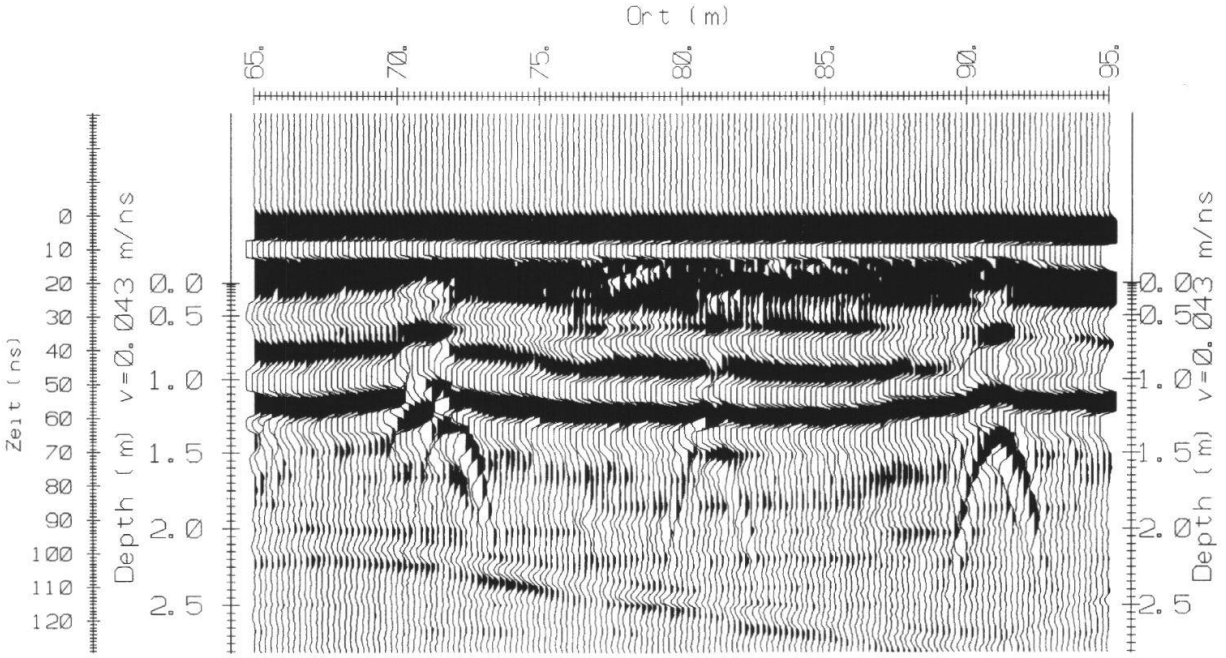

Fig. 13: Ortung von Leitungen (bilden sich in Radargrammen als Hyperbeln ab) bei der Deponie Riet. Das Radarprofil wurde in einer Feuchtwiese aufgenommen. Das Material dieser Leitungen ist nicht bekannt.

Die besprochenen Messbeispiele wurden ausgewählt, um verschiedene mögliche Ansatzpunkte bei Georadarmessungen zu verdeutlichen. Eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen einer Georadaruntersuchung ist, dass alle beteiligten Projektpartner ihr Wissen einbringen und genügend Zeit einplanen für die Zusammenarbeit und den gegenseitigen Austausch an Know-How. Weiter sollte der Auftraggeber solcher Untersuchungen vor Projektbeginn eine eindeutige Fragestellung formulieren, so dass der Erfolg der Kampagne vom Georadar-Dienstleister gewährleistet werden kann.

Literatur

ASTRA (2000): Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, Dokumentation des Bundesamts für Strassen, Abteilung Strasseninfrastruktur, Ausgabe 2000.

MEIER, E., HUGGENBERGER, P. (1992): Georadar zur Kartierung der obersten 10 bis 20 Meter des Untergrundes, Wasser, Energie, Luft, 84. Jahrgang, Heft 5/6, CH-5401 Baden.

STAUBLI, P. (2001): Hochmoor-Regenerationsprojekt Zigermoos. Hrsg. Baudirektion des Kantons Zug, Amt für Raumplanung. 39 S.

STAUBLI, P. (2000): Hochmoor-Regenerationsprojekt Neugrundmoor. Hrsg. Baudirektion des Kantons Zug, Amt für Raumplanung. 50 S.

MÜLLER-DICK, K.A. (2001): Georadar-Messungen im Zigermoos bei Unterägeri/ZG. Hrsg. Baudirektion des Kantons Zug, Amt für Raumplanung. 10 S.

Deponie Riet: Langfristige Planung, Bericht 1997; Hrsg. Stadt Winterthur, Departement Bau, Tiefbau. 29 S.

MÜLLER, B., ATYA, M. und SCHLÜCHTER, C. (2000): Georadar-Messungen im Neugrundmoor bei Menzingen/ZG, Pilotstudie. Technischer Bericht.