

Reflexionsseismik: Instrumentarium moderner Ingenieurgeologie

Autor(en): **Frei, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **111 (1993)**

Heft 19

PDF erstellt am: **05.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78182>

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.

Reflexionsseismik

Instrumentarium moderner Ingenieurgeologie

Seismische Untersuchungen in sinnvoller Kombination mit Sondierbohrungen und mit anderen geophysikalischen Verfahren bilden bei ingenieur- und umweltgeologischen Erkundungen einen integralen Bestandteil von entscheidender Aussagekraft. Die Anzahl teurer Sondierbohrungen kann erheblich reduziert und das Risiko ungünstig gewählter Bohrstandorte vermindert werden.

Jährlich werden weltweit rund 3 Milliarden US\$ für geophysikalische Untersuchungen aller Art aufgewendet.

VON WALTER FREI,
SCHWERZENBACH

Davon entfallen rund 94% auf die Reflexionsseismik, etwa 1.5% auf die Refraktionsseismik und der Rest auf die übrigen geophysikalischen Disziplinen. Die Erdölindustrie nimmt mit ihrem Anteil von 97% an den global für Reflexionsseismik getätigten Ausgaben eine dominierende Stellung ein.

Für Erkundungen bis in Tiefen von 6 km, beispielsweise für die Suche nach Erdöl und Erdgas, werden Messequipen von rund 60 Mann eingesetzt. Die Investitionen für die Ausrüstung eines solchen Trupps bewegen sich in Grössen zwischen 10 und 20 Mio. Franken. Die seismische EDV-Auswertung verlangte bis Ende der achtziger Jahre einen Investitionsbedarf von mindestens 1.5 Mio. Franken für Hard- und Software. Angesichts dieser Kosten konnte man sich reflexionsseismische Messungen nur leisten, wenn dem Informationsgehalt der Resultate ein hoher Wert zukam.

Die Reflexionsseismik hat deshalb in der Schweiz noch den Ruf einer kostspieligen Prospektionsmethode, die bei der Lösung ingenieurgeologischer Fragen mit grosser Zurückhaltung eingesetzt wird. In den vergangenen Jahren haben jedoch die Fortschritte in der Computertechnologie sowohl für die Datenakquisition im Feld wie auch für die EDV-Auswertung kompakte und kostengünstige Apparaturen und Rechner hervorgebracht, die für kleinere Messvorhaben massgeschneidert sind. Punkto Leistungsfähigkeit sind sie vergleichbar mit den modernsten Systemen zu Beginn der achtziger Jahre. Der Investitions- und Unterhaltsaufwand zur Durchführung von reflexionsseismischen Messungen wurde in den vergangenen 5 Jahren um rund 80% gesenkt.

Damit ist dieses Verfahren für ingenieurgeologische Untersuchungen erschwinglich geworden.

Der Unterschied zu den andern geophysikalischen Erkundungsmethoden

Unter den geophysikalischen Prospektionsverfahren nimmt die Reflexionsseismik eine Sonderstellung ein. Gegenüber der Refraktionsseismik und den Potentialfeldverfahren, wie der Gravimetrie, (Elektro-)Magnetik und der Geoelektrik, zeichnet sie sich dadurch aus, dass sie – gleichsam einer Röntgenaufnahme – untereinanderliegende Gesteinsschichten nach ihrer Tiefenlage getrennt abzubilden vermag.

Die übrigen Verfahren messen dagegen sogenannte «Integraleffekte», d.h. die Einzeleinwirkungen der Gesteinseigenschaften aller geologischer Formationen integrieren sich in eine Kennkurve, aus deren Form und Verlauf die – oft subjektiv gefärbten – Aussagen über den Aufbau und die Zusammensetzung des Untergrundes abgeleitet werden. Allen diesen Verfahren gemeinsam ist der beschränkte Informationsgehalt. Ihr Einsatz in einem geophysikalischen Untersuchungsprogramm ist in der Regel nur sinnvoll als Ergänzung zu reflexionsseismischen Erkundungen.

Prospektionsstrategien

Dem Geologen stehen drei Arten von Informationsquellen für die Beschreibung des Untergrundes zur Verfügung:

- Die *geologische Kartierung* mit Extrapolation der an der Oberfläche beobachteten Strukturen in die Tiefe unter Berücksichtigung der sedimentologischen und tektonischen Geschichte des Untersuchungsgebiets
- *Oberflächengeophysik*, d.h. nicht invasive Erkundungsverfahren (z.B. Seismik)

- *Sondierbohrungen* mit Entnahme von Gesteinsproben und mit bohrlochgeophysikalischen Messungen.

Tabelle 1 umreist die Vor- und Nachteile der einzelnen Untersuchungsarten. Der Einsatz der drei Erkundungsverfahren ist wirtschaftlich und sachlich auf die Problemstellung abzustimmen. Das Vorgehen verläuft für ingenieurgeologische Untersuchungen analog zur Strategie bei der Suche nach Kohlenwasserstoffen in drei Phasen:

Die *erste Phase* besteht aus geologischen Kartierungs- und Kompilationsarbeiten sowie der Festlegung eines geophysikalischen Messprogramms. Die *zweite Phase* umfasst seismische Erkundungen, ggf. gepaart mit anderen geophysikalischen Methoden wie Georadar, Geoelektrik, Magnetik und Gravimetrie. Deren Ziel ist die Erfassung der geologischen Verhältnisse entlang von Schlüsselprofilen und die Bestimmung geeigneter Standorte für Sondierbohrungen. In einem seismisch unbekanntem und geologisch komplexem Gebiet empfiehlt sich eine Vorstudie zur Eignungsabklärung des seismischen Verfahrens und zur Abstimmung der Aufnahmeparameter bei einer Erweiterung des Messprogramms. In einer *dritten Phase* erfolgt das Abteufen einer oder mehrerer Sondierbohrungen. Die aus den Bohrungen gewonnene Information entscheidet über die Weiterführung des Erkundungsprogramms in Form zusätzlicher seismischer Messungen und Bohrungen.

Das Ziel, eine optimale Datenausbeute mit den vorhandenen Mitteln anzustreben, wird erreicht, wenn Geologen, Geophysiker und Ingenieure das Untersuchungsprogramm gemeinsam entwerfen und es in enger Zusammenarbeit dem jeweils vorhandenen Kenntnisstand anpassen.

Messbeispiele

Beispiel 1

Die obere Grenze einer noch mit kleinen seismischen Aufnahmeapparaturen durchführbaren Erkundung liegt bei einer Eindringtiefe um 2000 m. Untersuchungen über grössere Tiefen bedingen einen erheblichen Mehraufwand an Gerätschaften und Personal, wie er für die Erdölseismik üblich ist. Bild 1 zeigt das Resultat einer seismischen Erkundung in der Magadino-Ebene bis in Tiefen von rund 1000 m. Die Topographie des Taltroges unter

Untersuchungsart	Vorteile	Nachteile
Geologische Kartierung	<ul style="list-style-type: none"> • Kostengünstigste Erkundung • Gesamtheitliche räumliche Erfassung der geologischen Verhältnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • In Detailfragen sind Mehrdeutigkeiten die Regel • Befunde subjektiv gefärbt
Oberflächengeophysik (Seismik)	<ul style="list-style-type: none"> • Reproduzierbare Messergebnisse • Unter günstigen Voraussetzungen eindeutige Resultate mit hoher Detailgenauigkeit • Geeignet für die Bestimmung optimaler Standorte für Sondierbohrungen • Seismische Daten können durch Befunde aus Sondierbohrungen geeicht werden und ermöglichen so die räumliche Erfassung der geologischen Verhältnisse. Durch Kartieren von Schichtgrenzen, ausgehend von einer Bohrung, kann das Bohrprogramm auf ein Minimum beschränkt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • In unbekanntem Gebiet sind Vorabklärungen über die Eignung des Messverfahrens nötig • Die Wahl der Datenerfassungsparameter (d.h. der Datendichte) ist kritisch für den Messerfolg und beeinflusst stark den Feldaufwand. Die Gefahr ist gross, durch verfehlte Sparmassnahmen keinen auswertbaren Datensatz zu erhalten. • Kosten für EDV-Auswertung in unbekanntem Gebiet mit komplexen geologischen Verhältnissen schlecht abschätzbar.
Bohrungen	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum an Detailinformation 	<ul style="list-style-type: none"> • Information nur in unmittelbarer Umgebung des Bohrlochs, d.h. ein-dimensional • teuerstes Erkundungsverfahren

Tabelle 1. Vor- und Nachteile der Untersuchungsarten

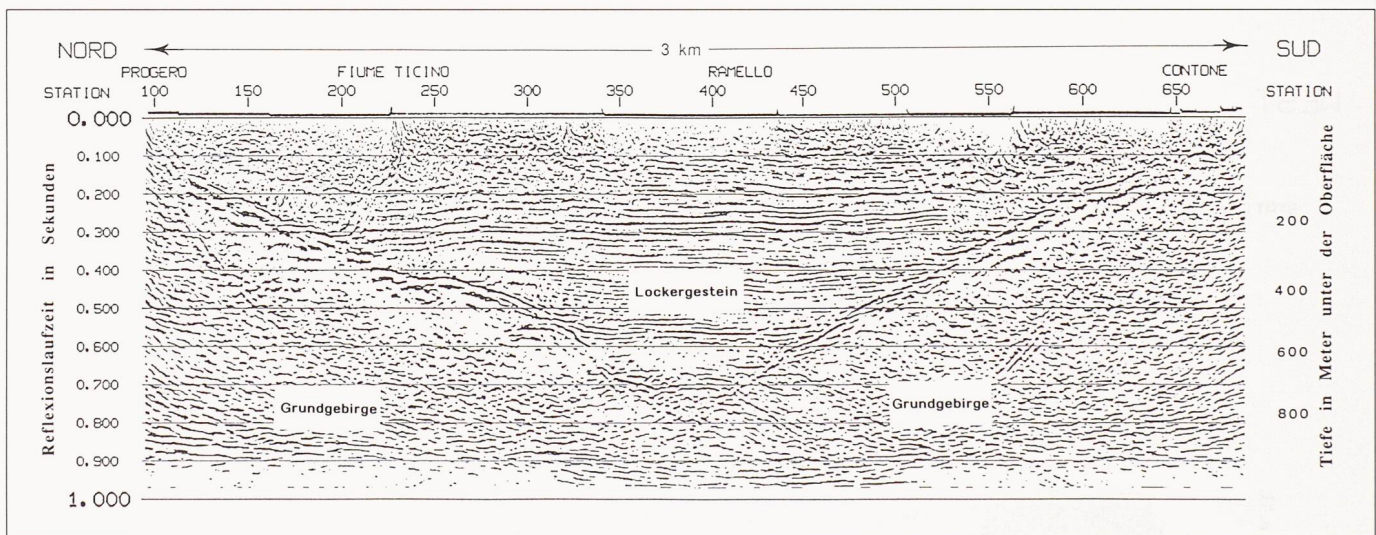


Bild 1. Seismisches Profil quer über die Magadino-Ebene bei Cadenazzo. Die Datenqualität ist ausgesprochen gut, was auf die horizontale Schichtungsstruktur der quartären Talfüllung und auf den markanten Schallhärtekontrast zwischen dem Lockermaterial und den darunterliegenden Gneisen zurückzuführen ist

den Sedimentablagerungen ist mit einer Fehlertoleranz von rund 5% kartierbar. Die Talfüllung erreicht ihre grösste Tiefe bei mindestens 750 m unter der Oberfläche, d.h. rund 550 m unter dem (heutigen) Meeresspiegel! Bemerkenswert ist eine canyonartige Übertiefung des Troges von rund 200 m in der Talmitte unter dem Weiler Ramello.

Beispiel 2

Auch in geologisch komplexen alpinen Gebieten liefert die Seismik aufschlussreiche Resultate. In Bild 2 (a-c) sind die Ergebnisse eines seismischen Profils im Öschinental bei Kandersteg dargestellt. Die Messungen erfolgten im Jahre 1990 im Rahmen geologischer Vorabklärungen für das AlpTransit Projekt *Lötschberg Basistunnel*.

Obwohl die quartären Deckschichten hauptsächlich aus inhomogenem Bergsturzmaterial bestehen, sind die Lockergesteinsmächtigkeiten und die Deckenstrukturen im darunterliegenden Grundgebirge gut erkennbar (Bild 2 b). Das Profil verbindet zwei Sondierbohrungen, die nachträglich abgeteuft wurden. Die Mächtigkeit der Deckschicht lässt sich zwischen den beiden Bohrungen ohne Schwierigkeiten kartieren. Deutlich zu erkennen ist ein Trog unter Kandersteg. Die Felsoberfläche steigt bei der Bohrung Kandersteg 91/1 wieder gegen Westen an. Das Profil lieferte wichtige Erkenntnisse bei der Planung der Linienführung des Lötschberg Basistunnels.

In Bild 2 c werden die seismischen Daten den Befunden aus der Bohrung

Öschinensee 91/5 gegenübergestellt. Die seismischen Reflektoren lassen sich als geologische Schichtgrenzen identifizieren. Die auf diese Weise kalibrierten Reflexionseinsätze können weg vom Bohrloch entlang des Profils verfolgt werden und liefern verlässliche Prognosen über die räumliche Lage der Schichten.

Beispiel 3

Für untiefe Erkundungen, beispielsweise bei Baugrunduntersuchungen, bei der Grundwasserprospektion und für Abklärungen bei Deponie-Altlasten, hat die Seismik in den vergangenen Jahren punkto Detaillierungsgrad bemerkenswerte Fortschritte gemacht. Bild 3 zeigt den Stand der Entwicklung am

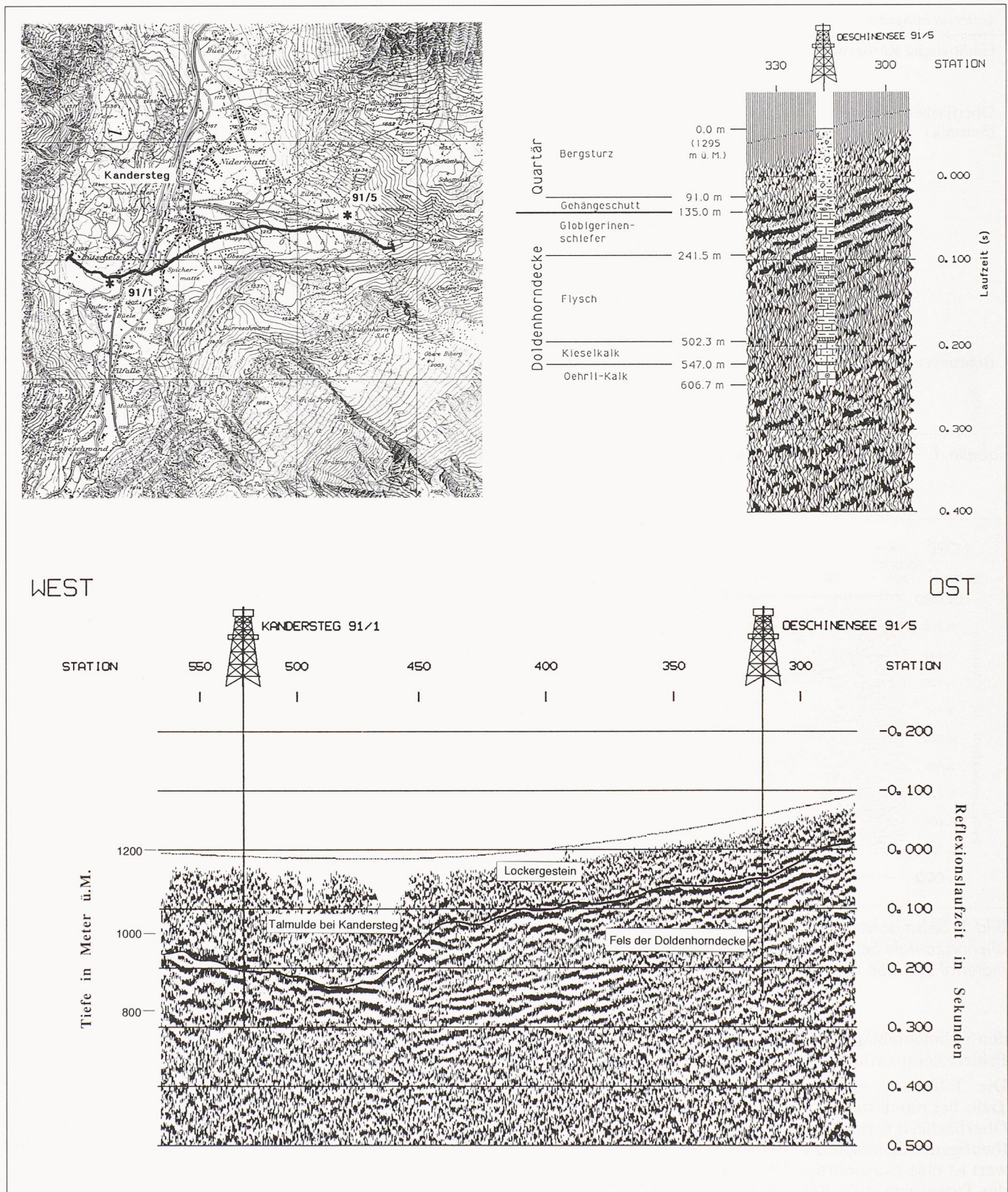


Bild 2. Projekt AlpTransit:

- a (oben links) Lageplan des seismischen Profils im Öschinental bei Kandersteg;
- b (unten) Vibroseisprofil längs des Öschinentals. Gut sichtbar ist der Reflektor der Felsoberfläche (akzentuiert eingezeichnet) unter der quartären Bergsturz- und Hangschuttüberdeckung. Zwischen Kandersteg und der Bohrung Öschinensee ist eine linsenförmige Deckenstruktur zu erkennen, die sich im mittleren Bereich durch ein breites Reflexionsband nach unten abgrenzt. Der Standort der Sondierbohrung 91/1 bei Kandersteg liegt auf der nach Westen ansteigenden Flanke des Grundgebirges. Wie die Seismik klar aufzeigt, liegt der tiefste Punkt des Quartärtroges rund 500 m östlich der Sondierbohrung;
- c (oben rechts) Kalibrierung der seismischen Daten mit Angaben aus der Sondierbohrung im mittleren Öschinental (Bohrung Öschinensee 91/5)

Literatur

- [1] Frei W., Lehner P., Valasek P., 1988: Nationales Forschungsprogramm 20 (NFP 20): Geologische Tiefenstruktur der Schweiz; SIA Nr. 47, 17.11.1988
- [2] Frei W., 1991: Reflexionsseismik, eine Wegleitung über ihre Anwendung und Möglichkeiten; 39 Seiten; zu beziehen bei GeoExpert ag, Bahnhofstrasse 35, 8603 Schwerzenbach; 39 Seiten
- [3] Lavergne M., 1986: Méthodes sismiques; Editions Technip, Paris; ISBN 2 7108 0514 6
- [4] Steeples D.W. and Miller R.D., 1990: Seismic Reflection Methods Applied to Engineering, Environmental and Ground Water Problems; Geotechnical and Environmental Geophysics, Volume 1, SEG Tulsa OK; ISBN 1 56080 000 3

Beispiel eines reflexionsseismischen Profils in einer Kiesgrube bei Hüntwangen ZH. Von der Geologie war bekannt, dass der Grundwasserspiegel in rund 2 m und die Molasse zwischen 20 und 30 m Tiefe erwartet werden konnten. Bekannt war auch die Existenz lokaler, stark verkitteter Zementationslinsen, wie sie an zahlreichen Stellen an den Wänden der Grube zu beobachten sind.

Auf dem Profil ist der Grundwasserspiegel in rund 1.8 m Tiefe (rund 6.5 m/s Laufzeit) deutlich erkennbar. Zwischen 11 m und 17 m Profillänge befindet sich in rund 3 m Tiefe eine linsenförmige Zementationszone, die deutlich höhere Ausbreitungsgeschwindigkeiten von rund 2200 m/s als das umgebende Lockergestein mit 1550–1650 m/s aufweist. In rund 22 m Tiefe (rund 28

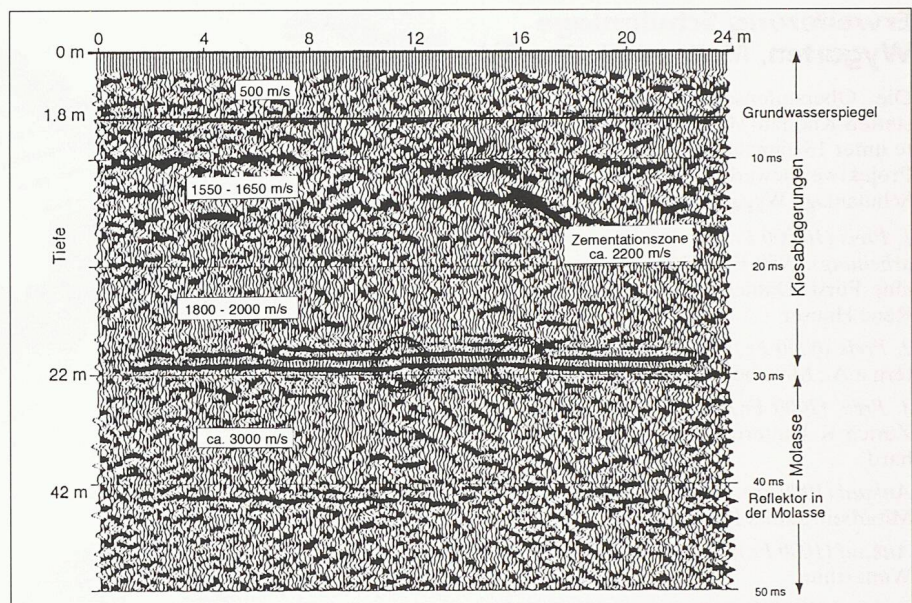


Bild 3. Hochauflösende Seismik in einer Kiesgrube bei Hüntwangen ZH. Die Empfänger- und Anregungsabstände betragen je 25 cm. Auf einer Gesamtlänge von 24 m wurden 96 Geophonstationen ausgelegt. Angeregt wurde mit einem 5 kg schweren Hammer mit sechs Schlägen an jedem Punkt. Der Grundwasserspiegel in 1.8 m Tiefe markiert den Übergang der seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten von 500 m/s im trockenen Kies zu 1550–1650 m/s für wassergesättigte Ablagerungen. Der Reflektor der Molasseoberfläche in 22 m Tiefe zeigt den Geschwindigkeitskontrast zwischen den Kiesablagerungen mit 1800–2000 m/s und der Molasse mit Werten um die 3000 m/s

m/s Laufzeit) ist als starker Reflektor die Molasse sichtbar.

Die Geschwindigkeitsanomalie der Zementationszone wird durch ein leichtes Anheben, einen sog. velocity pull-up, des darunter liegenden Abschnitts des Molassereflektors bestätigt (markiert durch zwei Kreise in Bild 3). Wegen der erhöhten Ausbreitungsgeschwindigkeit durch die Zementationslinse ist die Echozeit zur darunterliegenden Molasse etwas kleiner als neben der Linse. Der Reflektor in der Molasse in rund 42 m Tiefe ist geologisch nicht identifiziert.

Zusammenfassung

Reflexionsseismische Abklärungen sind ein wichtiger Bestandteil im Rahmen eines ingenieurgeologischen Untersuchungsprogramms. In sinnvoller Kombination mit Bohrungen bieten sie bei der Beschaffung aussagekräftiger Prognosen und Entscheidungsgrundlagen Gewähr für ein optimales Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag.

Adresse des Verfassers: Walter Frei, dipl. Natw. ETH/SIA, GeoExpert ag, Bahnhofstrasse 35, 8603 Schwerzenbach

Wettbewerbe**Kirchgemeindezentrum Hünenberg ZG**

Die Evangelisch-reformierte Kirchgemeinde des Kantons Zug veranstaltete einen Projektwettbewerb unter zehn eingeladenen Architekten für ein Kirchgemeindezentrum in der Gemeinde Hünenberg. Ein Entwurf musste von der Preiserteilung ausgeschlossen werden. Ergebnis:

1. Preis (7500 Fr. mit Antrag zur Weiterbearbeitung): Willi Egli, Zürich; Mitarbeit: René Hauser, Regina Fürst, Marco Frigerio, Daniel Müller, Andreas Blaser

2. Preis (6500 Fr.): Hafner+Wiederkehr+Partner, Zug; Mitarbeit: Ivana Calovic, Gabrielle Hächler

3. Preis (6000 Fr.): H.P. Ammann und P. Baumann, Zug; Mitarbeiter: Victor Zoller, Roland Sievi

Jeder Teilnehmer erhielt eine feste Entschädigung von 3000 Fr. Fachpreisrichter waren E.A. Anderegg, Meiringen, Frau C. Bourquin, Hünenberg, O. Gmür, Luzern, E. Gisel, Zürich, W. Rüssli, Luzern, C. Luchsinger, Zug, Ersatz.

Altenpflegeheim in Offenburg, Baden-Württemberg

Die Vizentiushaus Offenburg GmbH veranstaltete einen beschränkten Realisierungswettbewerb für ein neues Altenpflegeheim in Offenburg. Ergebnis:

1. Preis (39 100 DM, mit Antrag zur Weiterbearbeitung): Ritter, Nees, Beutler, Basel; Mitarbeiter: Thomas Schmid; Fachberater: Lothar Reichart, Arch., Rheinfelden; August Künzel, Landschaftsarchitekt, Binnigen

2. Preis (23 460 DM): Reiner Krämer, Hans-Jürgen Wolz, Offenburg; Mitarbeiter: Th. Herzog, W. Skrle, P. Korinski

3. Preis (15 640 DM): Gerhard A. Lehmann, Offenburg; Mitarbeiter: J. Fritsch, H. Kerker, A. Peters, St. Voigt

4. Rang: Architektengruppe Gaiser-Feigenbutz, Karlsruhe; Mitarbeit: S. Moser, R. Rossi

Fachpreisrichter waren Prof. Hans Klumpp, Stuttgart; Volker Rosenstiel, Freiburg; Ekart Köberich, Offenburg; Eckhard Bull, Freiburg; Gisela Fleig-Harbauer, Emmendingen.