

# Ingenieurseismik sinnvoll eingesetzt

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **60 (1993)**

Heft 136

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-216870>

## **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.

## Ingenieurseismik sinnvoll eingesetzt

mit 5 Bildern

WALTER FREI\*

### *Zusammenfassung*

Für oberflächennahe Erkundungen empfiehlt sich der kombinierte Einsatz von Reflexionsseismik und Refraktionsseismik. Neben der überlegenen Aussagekraft reflexionsseismischer Abbildungen von komplexen geologischen Strukturen liefert die Refraktionsseismik verlässlichere Informationen über die seismischen Geschwindigkeiten in den obersten Schichten.

Für die Wahl der Akquisitionsparameter sind allgemein gültige Richtlinien angeführt, die der geologischen Fragestellung Rechnung tragen.

Der Feldaufwand und die EDV-Kosten in Abhängigkeit des zu erkundenden Tiefenbereichs werden graphisch dargestellt.

### *Résumé*

L'utilisation combinée de la sismique-réfraction et de la sismique-réflexion est recommandée pour l'étude des couches peu profondes. Alors que la sismique-réflexion permet une meilleure définition des structures géologiques complexes, la sismique-réfraction livre des indications plus fiables sur les vitesses des couches les plus proches de la surface.

Des règles de base générales sont énoncées qui permettent de choisir au mieux les paramètres d'acquisition pour un problème géologique donné.

L'ampleur que nécessitent les mesures sur le terrain et les coûts du traitement informatique sont représentés graphiquement en regard de l'intervalle de profondeur à étudier.

### *Summary*

For shallow seismic surveys the consistent use of both reflection and refraction profiling is recommended. Although the reflection method is unrivaled for imaging the more complex geological structures, usually better velocities of the near surface layers are obtained by refraction analysis.

General rules are established for the design of the reflection seismic field parameters by taking into account the survey objectives.

The relationship of the overall and processing expenditures with the required depth of investigation is presented graphically.

## **Einführung**

Unter den geophysikalischen Prospektionsverfahren nimmt die Reflexionsseismik zusammen mit Georadar eine Sonderstellung ein. Gegenüber der Refraktionsseismik und den Potentialfeldverfahren, wie der Gravimetrie, Magnetik und der Geoelektrik, zeichnet sie sich dadurch aus, dass sie, gleichsam einer Röntgenaufnahme, untereinanderliegende Gesteinsschichten *nach ihrer Tiefenlage getrennt abzubilden* vermag. Die anderen Verfahren messen dagegen sog. «Integraleffekte», d.h. die Einzeleinwirkungen verschiedener Gesteinseigenschaften und der geologischen Strukturen integrieren sich in eine Kennkurve, aus deren Form und Verlauf ein Modell über den Aufbau und die Zusammensetzung des Untergrunds abgeleitet wird.

\* WALTER FREI GeoExpert ag, Geophysikalische Untersuchungen, Bahnhofstrasse 35, CH-8603 Schwerzenbach

Die Arbeitsweise der Reflexionsmethode, den Untergrund nach dem Echolot-Prinzip abzutasten, ermöglicht die direkte Kartierung komplexer geologischer Strukturen mit einem Informationsgehalt, wie er nur in seltenen Fällen durch ein anderes geophysikalisches Erkundungsverfahren erreicht wird. Obschon die Kosten für reflexionsseismische Untersuchungen in den letzten Jahren für ingenieurgeologische Fragestellungen markant gesenkt werden konnten, sind die Preisunterschiede gegenüber den anderen geophysikalischen Erkundungsverfahren wegen des grossen apparativen und personellen Aufwands noch immer beträchtlich.

Anhand zweier Messbeispiele aus der Praxis wird gezeigt, was von den refraktions- und reflexionsseismischen Methoden erwartet werden kann. Bei der Frage nach den einzusetzenden Mitteln ist zu bemerken, dass bei reflexionsseismischen Feldarbeiten refraktionsseismische Geschwindigkeitsangaben für die obersten Schichten als kostenloses Nebenprodukt anfallen, und tieferreichende Refraktionsaufzeichnungen ohne grossen zusätzlichen Feldaufwand über erweiterte Offset-Schüsse (*expanding spread*) erhältlich sind. Aus diesem Grund reduziert sich die Frage einzig darauf, ob Reflexionsseismik notwendig ist oder nicht. Die Beispiele zeigen, dass bei komplexen geologischen Verhältnissen eine sinnvolle Kombination beider Verfahren Resultate liefert, deren Aussagekraft die Mehrkosten für Reflexionsseismik rechtfertigen.

Hat man sich für den Einsatz von Reflexionsseismik entschieden, gilt es die Feldparameter so zu wählen, dass sie der geologischen Fragestellung gerecht werden. In unbekanntem Gebieten und bei schlechter Reflektivität des Untergrunds besteht die Gefahr, wegen zu geringer Datendichte schlecht interpretierbare Resultate zu erhalten. Dies wird durch ein Beispiel aus der Praxis belegt.

Die Kosten für reflexionsseismische Untersuchungen hängen von der gewünschten Eindringtiefe ab. Eine graphische Darstellung illustriert diesen Zusammenhang.

### **Abgrenzung der Anwendungsbereiche der refraktions- und reflexionsseismischen Verfahren**

Der Einsatz der klassischen Refraktionsseismik mit Schuss und Gegenschuss beschränkt sich, rein akademische Zielsetzungen ausgenommen, auf die Abklärung oberflächennaher Tiefenbereiche. Sie erbringt unter geologisch einfachen Bedingungen, vor allem in den obersten 4 - 7 m, oft aussagekräftigere Resultate zu geringeren Kosten als die Reflexionsseismik. Mit zunehmendem geologischem Schwierigkeitsgrad stösst sie hingegen sehr schnell an die Grenzen ihrer Möglichkeiten. Ohne aufwendige, oft subjektiv gefärbte, iterative Modellstudien, die für ingenieurgeologische Untersuchungen aus Kostengründen unüblich sind, können keine verlässlichen Aussagen mehr gemacht werden.

Der Messfortschritt ist bei der Refraktionsseismik 5 bis 10 mal grösser und die Datendichte 20 bis 40 mal kleiner als bei der Reflexionsseismik. Unter einfachen geologischen Bedingungen, z.B. bei einer Deckschicht bestehend aus gut sortiertem homogenem Lockergestein, die auf einer mehr oder weniger planaren unverwitterten Felsoberfläche liegt, ist die kostengünstigere Refraktionsseismik unbestritten die sinnvollste Erkundungsmethode. Liegt hingegen ein verwitterter Fels mit stark unregelmässiger Oberfläche unter heterogen zusammengesetztem Schuttmaterial, sind verlässliche Aussagen ohne die Reflexionsseismik illusorisch.

In komplex strukturierten, oberflächennahen Deckschichten sind die reflexionsseismischen Analyseverfahren oft nicht in der Lage, die seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen. Diese Unsicherheiten haben

zur Folge, dass die Tiefenangaben für reflexionsseismisch identifizierte Struktur­grenzen entsprechend ungenau sind. Diesem Umstand kommt die Refraktionsseismik entgegen, bestehen ihre Vorzüge doch darin, dass sie in der Regel für Schichten bis in ca. 10 m Tiefe verlässliche Geschwindigkeitsangaben liefert.

*Zusammenfassend ist festzuhalten, dass in geologisch komplexen Gebieten die Reflexionsseismik zur Kartierung von Strukturen dient. Ergänzend dazu eignet sich die Refraktionsseismik besser zur Bestimmung der Geschwindigkeiten in den obersten Schichten.*

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die in den letzten Jahren entwickelten modernen Refraktionsverfahren nach der CMP (*Common Mid Point*)- und der GLI (*Generalized Linear Inversion*)-Methoden in besonders problematischen Fällen für Abklärungen bis in 10 - 20 m Tiefe Informationen liefern, die von der Reflexionsseismik und der herkömmlichen Refraktionsseismik nur schwierig erhältlich sind. Beide Verfahren setzen jedoch eine ebenso grosse Datendichte wie die Reflexionsseismik voraus, was bei der Datenakquisition keine Kostenvorteile mehr bringt. Die CMP- und die GLI-Refraktionsmethoden sind ergänzend zu reflexionsseismischen Daten anwendbar, bedingen hingegen einen erheblichen EDV-Mehraufwand an manuellen Auswertungsschritten. Ihr Einsatz ist nur bei hartnäckigen Problemen gerechtfertigt und in der Ingenieurseismik noch wenig verbreitet. An dieser Stelle wird deshalb auf eine weitere Diskussion dieser Verfahren verzichtet.

## **Praktische Anwendungsbeispiele**

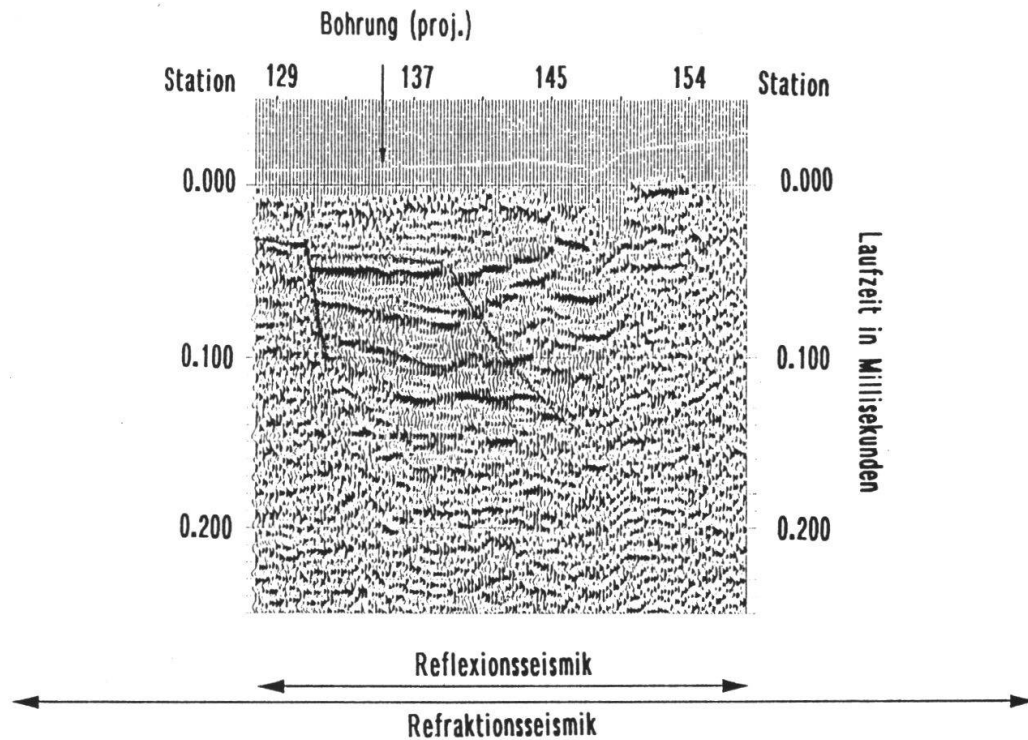
### *Beispiel 1: Abzuklärender Tiefenbereich bis 50 m*

Entlang eines Profils von 300 m Länge im Bergsturzgebiet oberhalb Flims GR wurde die Kombination beider seismischer Verfahren mit Erfolg eingesetzt. Das Ziel der Untersuchung war die Kartierung der Felsoberfläche bis in max. 50 m Tiefe unter Moränen- und Hangschuttmaterial. Es wurde vermutet, dass im zentralen Profilschnitt der Fels über mehr als 150 m steil abfällt. Über die gesamte Profillänge kam die kostengünstige Refraktionsseismik und im Mittelabschnitt, über ca. 120 m, hochauflösende Reflexionsseismik zum Einsatz. Die Ergebnisse sind in Bild 1 dargestellt. Die obere Abbildung zeigt das reflexionsseismische Laufzeitprofil. Die untere Abbildung enthält die geologische Interpretation der kombinierten Auswertung beider seismischer Verfahren.

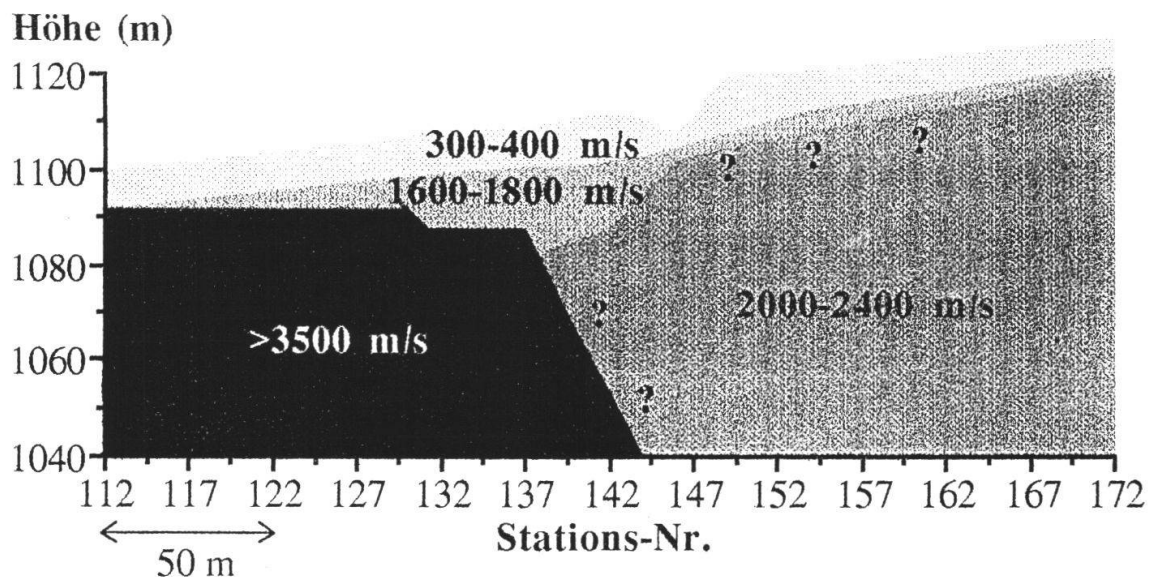
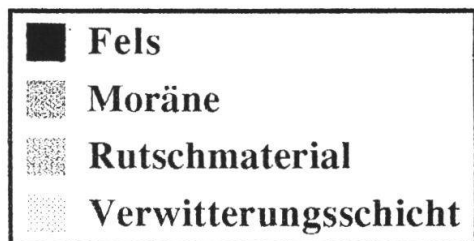
<i>Die wichtigsten Feldparameter in Kürze:</i>	Refraktionsseismik	Reflexionsseismik
Empfängerabstände	5 m	1 m
Auslage	96 Kanäle	96 Kanäle, split spread
Profillänge	300 m	120 m
Seismische Quelle	Fallgewicht 250 kg	Fallgewicht 250 kg
Anregungsabstände	30 m	1 m
Anzahl Schläge / Anregungspunkt	4 - 8	2 - 4

Die Refraktionsseismik liefert eindeutige Aussagen über die Tiefenlage der Felsoberfläche nur gerade zwischen den Stationen 112 und ca. 130. Auf dem restlichen Profilschnitt sind die Laufzeitkurven an den verschiedenen Anregungspunkten wegen der heterogenen Zusammensetzung der Deckschicht(en) uneinheitlich und mehrdeutig. Die Reflexionsseismik hingegen zeigt den Verlauf der Felsoberfläche und die Lage der Abrisskante bei Station 140 deutlich auf. Links der Abrisskante im reflexionsseismi-

## Reflexionsseismisches Laufzeitprofil



## Geologische Interpretation



**Bild 1** Kombinierte Untersuchung einer geologisch komplexen Situation mit Reflexions- und Refraktionsseismik im Bergsturzgebiet oberhalb Flims GR. Die Untersuchung steht im Rahmen geologischer Abklärungen zum Bau eines Strassenumfahrungstunnels.

schen Laufzeitprofil weisen die Reflexionseinsätze der Felsoberfläche bei ca. 40 Millisekunden und der tiefer liegenden Deckentrenner im Flimser Kalk eine gute Kontinuität auf. Die Reflexionseinsätze rechts der Abrisskante sind schwächer, haben eine geringere Ausdehnung und unterschiedliche Neigungswinkel. Die Lage der Abrisskante wird durch die Refraktionsseismik zusätzlich bestätigt, da die abgeleiteten Geschwindigkeitswerte in diesem Abschnitt von mehr als 3'500 m/Sek. auf weniger als 2'400 m/Sek. zurückgehen. Die Geschwindigkeiten in den Deckschichten wurden mehrheitlich refraktionsseismisch ermittelt und stimmen an den Stellen, wo die Felsoberfläche als kräftiger horizontaler Reflektor in Erscheinung tritt, mit den reflexionsseismisch abgeleiteten Geschwindigkeiten überein.

Die Resultate der Auswertung werden durch die Befunde aus 2 Sondierbohrungen in unmittelbarer Nähe bestätigt.

### *Beispiel 2: Abzuklärender Tiefenbereich bis 12 m*

Für eine Baugrunduntersuchung ist entlang eines 100 m langen Profils in ansteigender Hanglage der Verlauf der Molasseoberfläche gesucht. In einer Bohrung am Fusse des Hanges wurde die Molasse auf 7.6 m Tiefe angetroffen. Die Molasseoberfläche ist vermutlich unregelmässig und möglicherweise von einer Flussrinne durchzogen. Die Deckschichten bestehen aus verwittertem Gehängelehm und einer schlecht sortierten Rinnenfüllung, die mit mittelgrossen Blöcken durchsetzt ist.

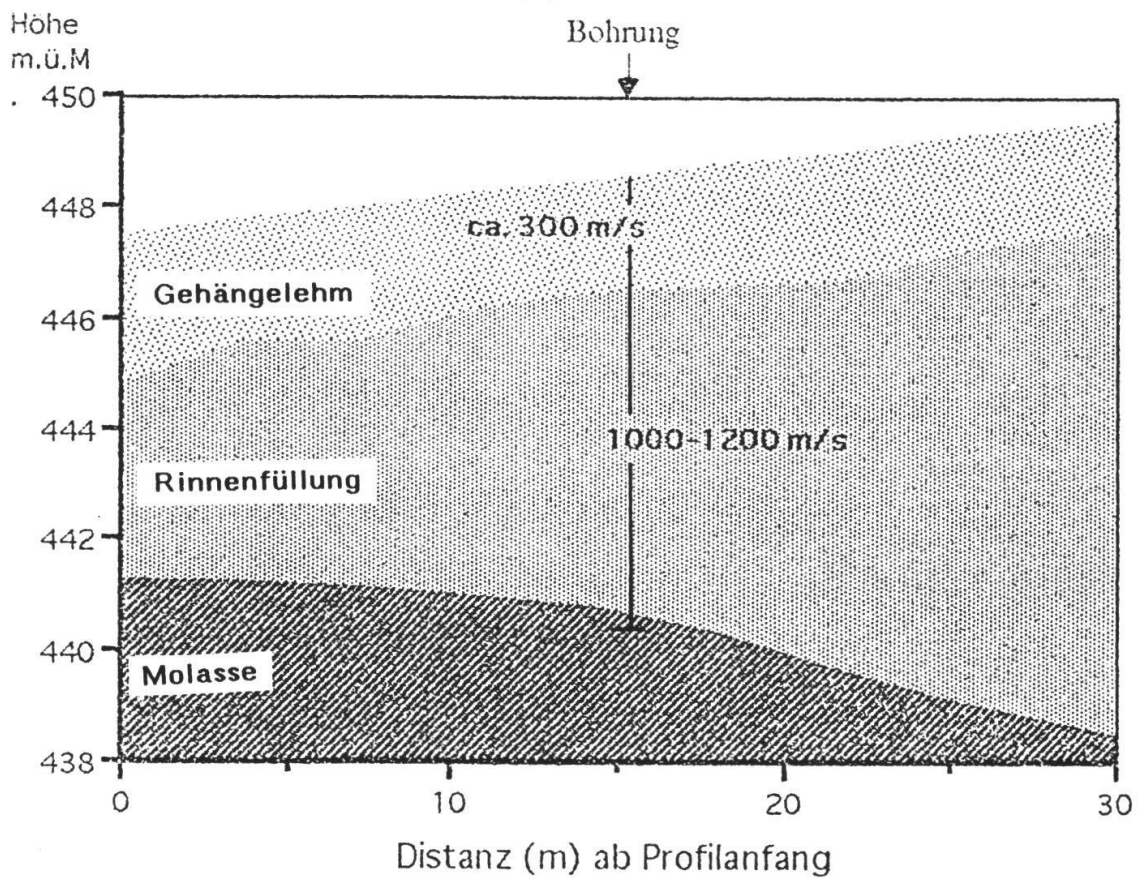
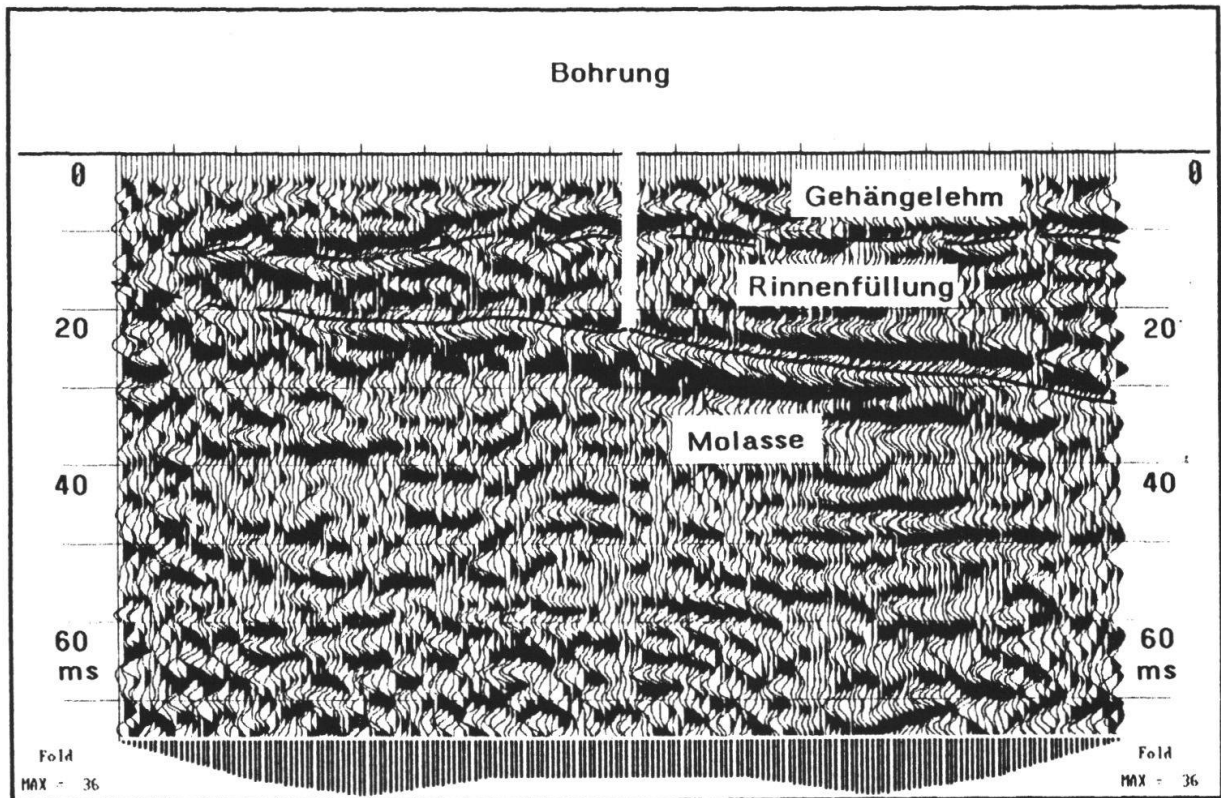
Die Untersuchung hat den Charakter einer Versuchsmessung zur Bestimmung problemangepasster Aufnahmeparameter. So wurde über die ganze Profillänge Refraktionsseismik und über eine Strecke von 30 m, mit der Bohrung in der Mitte, hochauflösende Reflexionsseismik eingesetzt. Die Messgrössen waren die folgenden:

	Refraktionsseismik	Reflexionsseismik
Empfängerabstände	2 m	0.3 m
Auslage	48 Kanäle	48 Kanäle, split spread
Profillänge	100 m	30 m
Seismische Quelle	Fallgewicht 50 kg	Hammer 10 kg
Anregungsabstände	10 m	0.3 m
Anzahl Schläge / Anregungspunkt	4 - 6	1

In **Bild 2** sind die Resultate der reflexionsseismischen Auswertung dargestellt. Im Laufzeitprofil oben ist die Molasseoberfläche unschwer als markanter Reflektor zwischen 20 und 30 Millisekunden erkennbar, der sich im untieferen Bereich gegen das linke Profilende hin deutlich abschwächt. Die Ursache ist eine stärker heterogene Zusammensetzung der Deckschichten (z.B. grössere Blöcke) gegenüber der rechten Profilhälfte, wo in der Rinnenfüllung Anzeichen für eine Schichtung im seismischen Erscheinungsbild festzustellen sind.

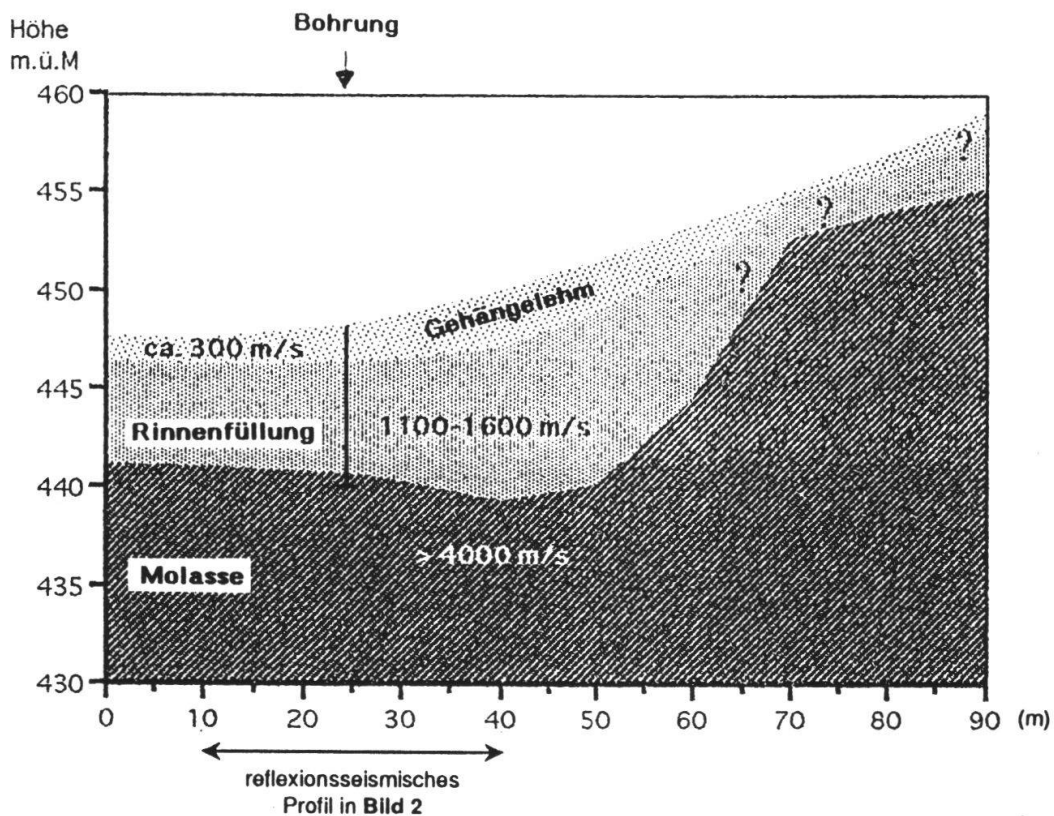
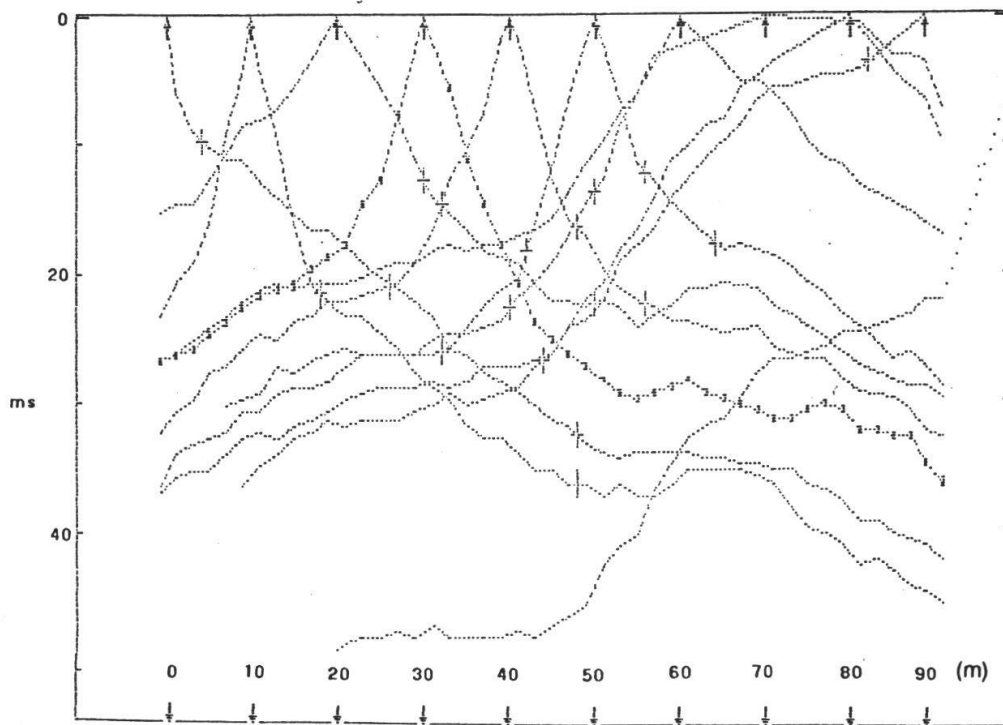
Die Formationsgeschwindigkeiten in der geologischen Interpretation der unteren Abbildung stammen vorwiegend von der refraktionsseismischen Auswertung und durch eine Eichung der Reflexionsseismik mit den Tiefenangaben aus der Bohrung. Die Geschwindigkeiten im verwitterten Gehängelehm liegen z.T. unter der Luftschallgeschwindigkeit.

Eine schlüssige Auswertung der Refraktionsseismik ist wegen der heterogen zusammengesetzten Deckschicht(en) und der unregelmässigen Molasseoberfläche schwierig. In **Bild 3** sind oben die refraktionsseismischen Laufzeitkurven für die in Abständen von 10 m getätigten Anregungen dargestellt. Der Verlauf und die Neigungen der einzel-



**Bild 2** Hochauflösende reflexionsseismische Versuchsmessung für eine Baugrunduntersuchung zur Kartierung der Molasseoberfläche. Über den erfassten Profilabschnitt von 30 m nimmt die Tiefe der Molasseoberfläche von 6 m Richtung hangaufwärts auf 9.5 m zu; die Fehlertoleranz beträgt 5 - 8 %. Die Grenze Gehängelehm / Rinnenfüllung wurde z.T. refraktionsseismisch abgeleitet.

### Refraktionsseismisches Laufzeitdiagramm



**Bild 3** Refraktionsseismische Auswertung auf dem verlängerten Profil in Bild 2. Das refraktionsseismische Laufzeitdiagramm oben zeigt ein verwirrendes Bild unregelmäßig verlaufender Laufzeitsegmente und von lokal stark unterschiedlichen Geschwindigkeiten in den Deckschicht(en). Die geologische Interpretation der rechten Profilhälfte (untere Abbildung) ist mit einer Fehlertoleranz von 30 - 35% lediglich eine grobe, subjektiv gefärbte Einschätzung der Lage.



nen Laufzeitsegmente unterscheiden sich stark für die einzelnen Aufzeichnungen. Die Tiefenangaben der geologischen Interpretation (untere Abbildung) sind hangaufwärts in der rechten Profilhälfte mit einer Fehlertoleranz von 30-35% zu betrachten. Die Geschwindigkeitswerte für die Molasse liegen mit  $> 4'000\text{m/s}$  unrealistisch hoch. Es handelt sich hier um noch nicht neigungskorrigierte Werte der aus der muldenförmigen Molasseoberfläche refraktierten Einsätze.

### **Richtlinien bei der reflexionsseismischen Parameterwahl**

Bei der Wahl geeigneter Aufzeichnungsparameter, die der geologischen Fragestellung Rechnung tragen, ist dafür zu sorgen, dass die Datendichte sowohl in räumlicher wie in energetischer Hinsicht den bestmöglichen Detaillierungsgrad für den abzuklärenden Tiefenbereich gewährleistet. Neben einer ausreichend starken Energiequelle spielen *die Abstände der Anregungs- und Empfängerstationen und die Länge der Auslage* (= Anzahl aktiver Empfängerstationen pro Anregungspunkt) die entscheidende Rolle.

Frei (1992) unterscheidet zwischen räumlicher und energetischer Datendichte und leitet eine Faustregel zur Festlegung der Empfänger- und Anregungsabstände ab, die aus der Sicht der räumlichen Datendichte ein zufriedenstellendes Auflösungsvermögen der seismischen Abbildung gewährleistet. Wünschenswert sind umfassendere Richtlinien, die auch die energetische Datendichte berücksichtigen, welche durch den Überdeckungsgrad ausgedrückt wird:

$$\text{Überdeckungsgrad} = \frac{\text{Anzahl Kanäle} \times \text{Empfängerabstand}}{2 \times \text{Schussabstand}}$$

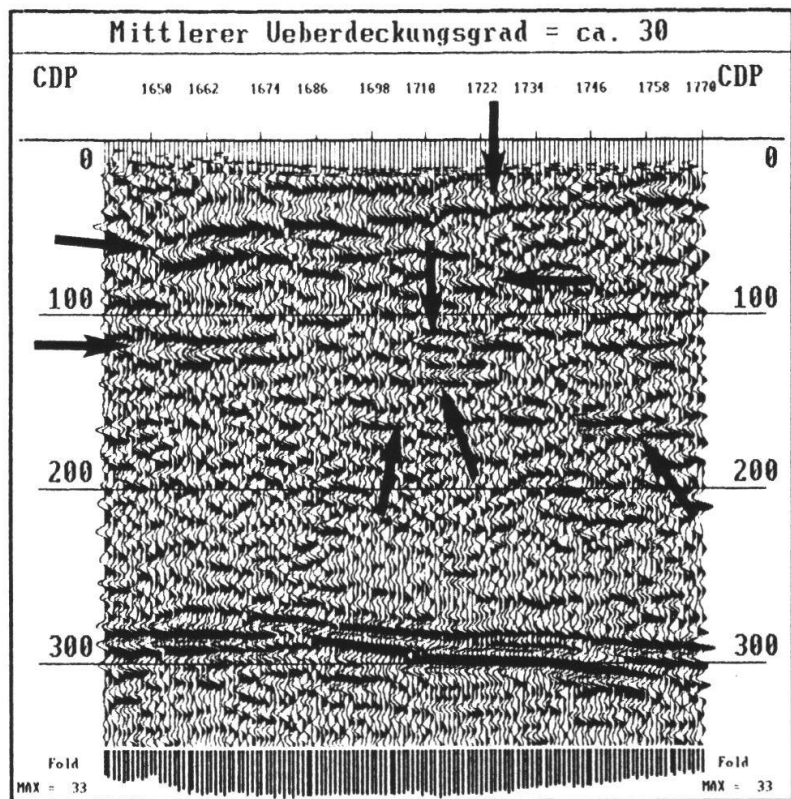
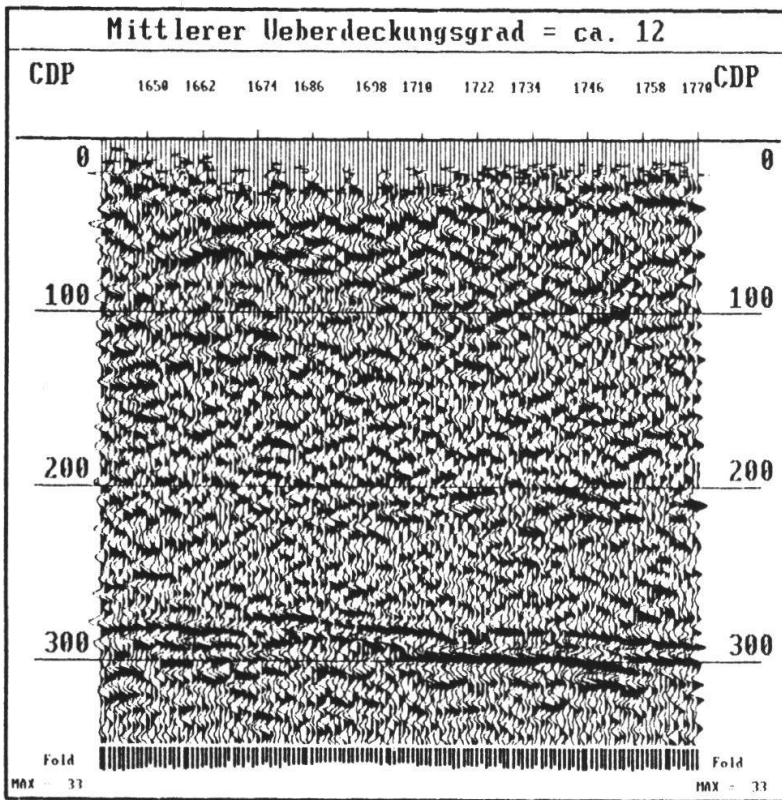
wobei: Schussabstand =  $n \times$  Empfängerabstand;  $n = 1,2,3\dots$   
 Anzahl Kanäle = aktive Geophonstationen pro Anregungspunkt

Mit dem Ziel, über mindestens die unteren 90% des zu erkundenden Tiefenbereichs genügend aussagekräftige Daten zu erhalten, lassen sich für die Wahl der Feldparameter die folgenden **allgemeingültigen Regeln** festlegen:

- I** Liegt die seismische Quelle in der Mitte der aktiven Geophonauslage (*split spread*), ist der Empfängerabstand etwa 60 mal kleiner als die maximal gewünschte Eindringtiefe zu wählen. Bei der Anregung an einem Endpunkt der Auslage (*end-on spread*) müssen die Empfängerabstände etwa 100 mal kleiner als die gewünschte grösste Eindringtiefe gewählt werden.
- II** Der Abstand der Anregungspunkte ist in der Regel gleich dem Empfängerabstand. Er sollte nur in gut begründeten Ausnahmefällen vergrössert werden.
- III** Die Empfängerauslage muss so lang sein, dass der Abstand vom Anregungspunkt zur am weitest entfernten Geophonstation ungefähr der Tiefe des Zielhorizonts entspricht. Dies bedeutet, dass die seismische Registrierapparatur bei den unter Punkt I vorgegebenen Empfängerabständen über eine ausreichende Anzahl Datenkanäle verfügen muss.

Diese Richtlinien sind robuste Faustregeln. Sie garantieren mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand, auch unter geologisch schwierigen Bedingungen, Daten mit einem ausreichend hohen Informationsgehalt.

In einem seismisch unbekanntem Untersuchungsgebiet empfiehlt sich die Einhaltung der drei Regeln zumindest für abklärende Versuchsmessungen. Sparmassnahmen auf



**Bild 4** Reflexionsseismischer Profilabschnitt mit einer Überdeckung von 12 (oben) und 30 (unten). Die Pfeile markieren die prominentesten Stellen, an denen die höhere Datendichte die Reflektoren deutlich besser abbildet. Das obere Profil ist wegen des schlechten Nutz-/Störsignalverhältnisses, verursacht durch die geringe Datendichte, für eine geologische Interpretation zu wenig aussagekräftig.

Kosten der energetischen Datendichte, d.h. des Überdeckungsgrades, können sich gravierend auf das Verhältnis Nutz- / Störsignal auswirken. Ein reflexionsseismisches Profil wird wegen eines ungenügenden Überdeckungsgrades ganz oder teilweise uninterpretierbar.

### *Messbeispiel mit unterschiedlichem Überdeckungsgrad*

In einer Talebene mit 200 - 300 m mächtigen Fluss- und Seeablagerungen über kristallinem Grundgebirge sollten die Sedimentstrukturen in den obersten 100 - 150 m seismisch kartiert werden. Gemäss Regel I in den oben angeführten Richtlinien wurde ein Empfängerabstand von 2 m eingehalten. Aus Kostengründen mussten jedoch die Regel II zugunsten eines schnelleren Messfortschritts und die Regel III zugunsten einer kostengünstigeren Registrierapparatur gelockert werden.

Die verwendeten und wünschbaren Messgrössen sind wie folgt:

	angewandte Parameter	wünschbare Parameter
Empfängerabstände	2 m	2 m
Länge der aktiven Geophonauslage pro Anregungspunkt	48 Kanäle	96 Kanäle
Anregungsabstände	4 m	2 m
Überdeckungsgrad (nach obiger Formel)	12 - fach	48 - fach
Seismische Quelle	Fallgewicht 250 kg	Fallgewicht 250 kg
Anzahl Schläge / Anregungspunkt	4 - 6	4 - 6

Auf einem Profilabschnitt von ca. 60 m wurde versuchsweise in Abständen von 2 m angeregt. An jedem Punkt erfolgten zwei Aufzeichnungen mit jeweils 48 Kanälen beidseits der Quelle. Der mittlere Überdeckungsgrad konnte auf diese Weise fast verdreifacht werden. **Bild 4** zeigt einen Vergleich der Resultate mit unterschiedlichen Datendichten. Oben ist der Profilabschnitt mit dem mittleren Überdeckungsgrad von 12 abgebildet. Die untere Abbildung zeigt den Abschnitt mit einer mittleren Überdeckung von 30. Der Unterschied in der Aussagekraft ist augenfällig. Die höhere Datendichte vermag in allen Tiefenbereichen mehr Reflektoren mit grösserer Deutlichkeit aufzuzeigen. Auch die Felsoberkante zwischen 280 und 310 ms ist mit erhöhter Überdeckung kräftiger, schärfer und als kontinuierlicherer Reflektor abgebildet.

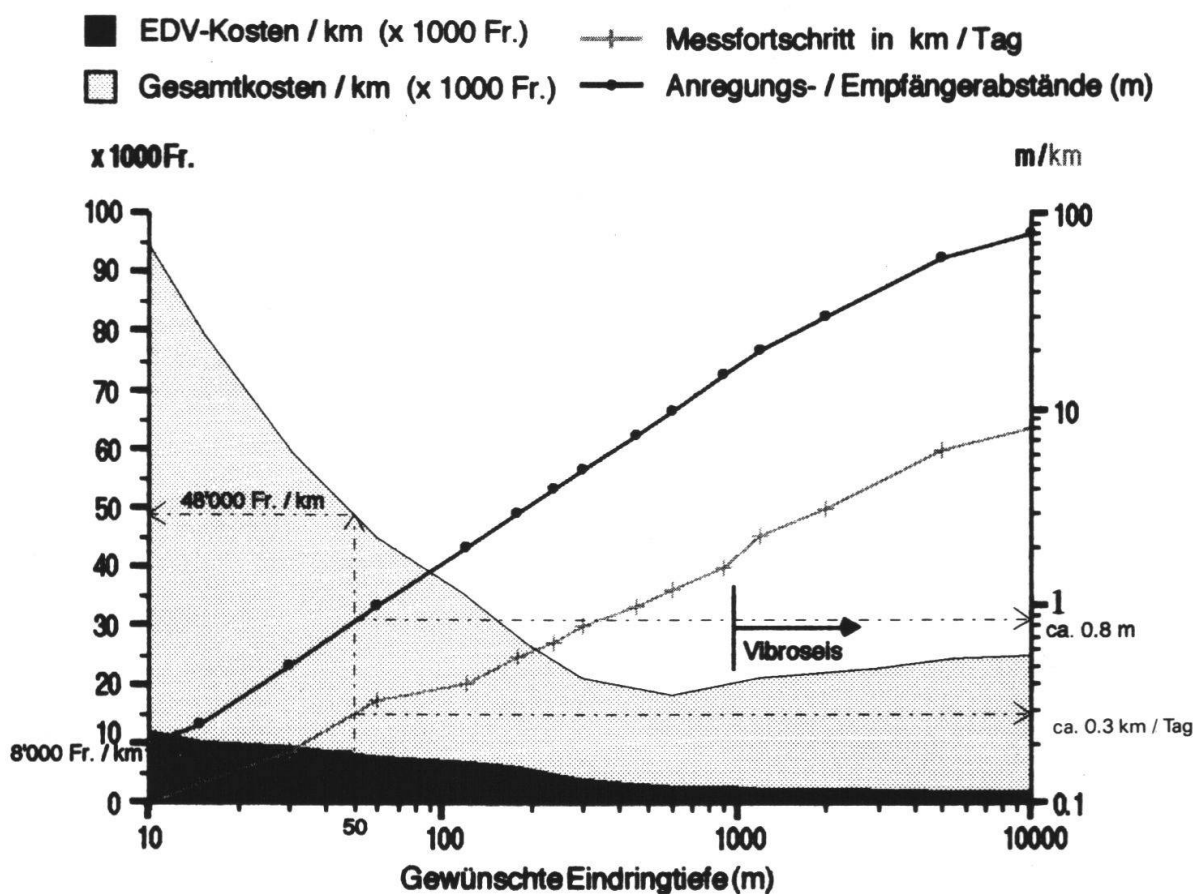
In diesem Gebiet mit geringen Geschwindigkeitskontrasten zwischen den einzelnen sedimentären Ablagerungsstrukturen hätte ein Überdeckungsgrad von 48, wie ihn die oben angeführten Richtlinien vorschreiben, die Interpretierbarkeit des Profils entscheidend verbessert.

### **Die Kosten reflexionsseismischer Messungen in Abhängigkeit der Fragestellung**

Entgegen landläufiger Vorstellungen steigen die Kosten pro Kilometer mit abnehmender Eindringtiefe für reflexionsseismische Messungen. Der Grund liegt darin, dass für hochauflösende Seismik die Abstände zwischen den Anregungs- und Empfängerstationen viel kleiner sind. Eine Messung mit Anregungs- und Empfängerabständen von 25 cm hat gegenüber einer Untersuchung mit Abständen von 10 m eine rund 800 mal grössere räumliche Datendichte. **Bild 5** illustriert die Abhängigkeit der Abstände und der Kosten von der gewünschten Eindringtiefe. Der Zusammenhang basiert auf den weiter oben festgelegten Richtlinien für eine problemangepasste Parameterwahl.

Der Verlauf der Kurve für die Gesamtkosten pro km durchläuft für Abklärungen bis in Maximaltiefen von 500 - 700m ein Minimum. Für solche Untersuchungen kann noch eine kleine Equipe mit der gleichen Ausrüstung wie bei viel geringeren Tiefen eingesetzt werden, und sie realisiert wegen der grösseren Anregungsabstände einen schnelleren Messfortschritt. Für gewünschte Eindringtiefen von mehr als ca. 1000 m ist Vibroseis das wirtschaftlichste Messverfahren. Der grössere apparative, personelle und logistische Aufwand einer Vibroseis-Equipe lässt die Gesamtkosten pro km mit zunehmender Eindringtiefe wieder leicht ansteigen.

### REFLEXIONSSEISMIK Aufwand in Abhängigkeit der gewünschten Eindringtiefe



**Bild 5** Anhand eines praktischen Beispiels soll der Aufwand für eine Untersuchung mit einer maximalen Erkundungstiefe bis 50 m ermittelt werden:  
Die gestrichelte senkrechte Linie ausgehend vom Wert 50 auf der Abszisse schneidet die Kurven für die Gesamtkosten bei Fr. 48'000 pro km, für die EDV-Kosten bei Fr. 8'000 pro km, für die Anregungs-Empfängerabstände bei 0.8m, und für den Messfortschritt bei 0.3 km pro Tag.

### Abschliessende Bemerkungen

In geologisch komplexen Gebieten ist die Reflexionsseismik häufig als einzige geophysikalische Disziplin in der Lage, den Verlauf der einzelnen Strukturelemente zu kartieren. Zur genaueren Bestimmung der Tiefenlage oberflächennaher Reflektoren bis in ca. 50 m Tiefe liefert die Refraktionsseismik in der Regel bessere Geschwindigkeitswer-

te als die reflexionsseismischen Analyseverfahren. Bei Messungen in unbekanntem oder geologisch schwierigen Gebieten sind konsequent immer beide Verfahren anzuwenden.

Vor der Versuchung sei gewarnt, den Messfortschritt durch Verminderung der Datendichte beschleunigen zu wollen. Sparsmassnahmen dieser Art sollten durch repräsentative und aussagekräftige Versuchsmessungen gut begründet werden können.

Die Wahl der Feldparameter gestaltet sich anhand dreier Regeln einfach, da für deren Anwendung nur die maximal gewünschte Erkundungstiefe bekannt sein muss. Die Regeln garantieren problemangepasste Messgrössen auch in Gebieten mit relativ schwieriger Geologie. *Bevor eine grössere Messkampagne in Gang gesetzt wird, empfiehlt sich eine Versuchsmessung von 1 - 2 Tage Dauer, um sich über die Reflektivität des Untergrunds ein Bild zu verschaffen und um die Messparameter zu optimieren.* Kann aufgrund der Ergebnisse der Versuchsmessung keine erfolgsversprechende Prognose über die Aussagekraft weiterführender Untersuchungen gemacht werden, ist die Fortsetzung der Messungen in Frage zu stellen.

### *Schriftenverzeichnis*

- FREI W.; 1991; *Reflexionsseismik; Ein Leitfaden über ihre Möglichkeiten und Anwendungen in der Praxis*; zu beziehen bei GeoExpert ag, Bahnhofstrasse 35, CH-8603 Schwerzenbach
- FREI W.; 1992; *Zur Detailgenauigkeit reflexionsseismischer Messresultate bei ingenieurgeologischen Anwendungen*; Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing., Vol. 59, Nr. 134, Juni 1992
- PRITCHETT W.C.; 1990; *Acquiring Better Seismic Data*; Chapman and Hall Ltd., London; ISBN 0412350009
- 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 1560800003
- VERMEER G. J. O.; 1990; *Seismic Wavefield Sampling: a wave number approach to acquisition fundamentals*; Society of Exploration Geophysicists SEG, Tulsa OK; ISBN 1560800100