

Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie
Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure;
Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie
Band: 5 (2000)
Heft: 2

Artikel: Hybride Seismik : eine verbesserte Methode zur Verwertung des
Aussagepotentials seismischer Daten
Autor: Frei, Walter / Keller, Lorenz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-222281>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Hybride Seismik – eine verbesserte Methode zur Verwertung des Aussagepotentials seismischer Daten

mit 2 Figuren

WALTER FREI* UND LORENZ KELLER*

Zusammenfassung

Gesteigerte Rechenkapazitäten für die Erfassung und EDV refraktionsseismischer und reflexionsseismischer Daten haben dazu geführt, dass beide Verfahren kombiniert auf ein und denselben Datensatz angewendet werden können (=hybride Seismik). Die Nachteile des einen Verfahrens werden durch die Vorteile des anderen kompensiert. Daraus resultiert eine markant verbesserte Aussagesicherheit und eine erhöhte Detailgenauigkeit.

Die Anwendung der Methode empfiehlt sich in geologisch komplexen Situationen, wo die Schallhärtekontraste an den Lagerungsstrukturen schwach ausgebildet sind und wo auch oberflächennah erkundet werden soll. In solchen Situationen liefert die in der Regel ungenauere Refraktionsseismik bei der Anwendung tauchwellentomographischer Auswertungsverfahren präzisere Angaben in Tiefen von weniger als 30 m unter OKG als die Reflexionsseismik.

Hochauflösende Reflexionsseismik eignet sich zur Erkundung von Schichtgrenzen, die in Tiefen von mehr als 15 m unter OKG liegen und eine unregelmässige, nicht planare Topographie aufweisen. Entscheidend für die erfolgreiche Anwendung der Kombination beider Verfahren ist eine hohe Datendichte ausgedrückt einerseits durch kleine Empfängerstationsabstände und andererseits durch eine ausreichend lange Messauslage.

Für die Darstellung der Ergebnisse wird das aus der refraktionsseismischen Tauchwellentomographie hergeleitete Geschwindigkeitsfeld transparent über die reflexionsseismische Sektion ausgedrückt. Die Untergrundstrukturen sind direkt ersichtlich und einfacher zu interpretieren.

Résumé

Une amélioration continue des unités de calcul utilisées pour l'acquisition et le traitement des données de sismique réfraction et réflexion permet aujourd'hui l'utilisation conjointe et simultanée de ces deux méthodes (=sismique hybride). Les inconvénients d'une méthode sont compensés par les avantages de l'autre. En résultent une confiance accrue dans les données et une résolution améliorée.

Cette méthode s'applique de préférence dans des contextes géologiques peu profonds, complexes et où les contrastes interstrates sont faibles. L'utilisation de la tomographie d'ondes de réfraction livre généralement, pour les 30 premiers mètres, des résultats supérieurs à ceux obtenus par la sismique réflexion. La sismique réflexion à haute résolution se prête elle très bien à la cartographie de couches irrégulières, non planes, situées à des profondeurs supérieures à 15 m.

La clef du succès lors de l'utilisation de la sismique hybride réside dans une densité suffisante de données, sous la forme d'une part de faibles écarts entre stations réceptrices et d'autre part d'une longueur adéquate du dispositif de mesure.

La présentation des résultats se fait en superposant en transparence à la section de sismique réflexion le champs de vitesses obtenu grâce à la tomographie des ondes de réfraction. Les structures du sous-sol sont ainsi plus aisément identifiables et leur interprétation s'en trouve facilitée.

* GeoExpert AG, Postfach 451, CH-8603 Schwerzenbach

Summary

Powerful computing facilities for the acquisition and processing of refraction and reflection seismic data enable the practitioner to collect in one single acquisition round large volume data sets for the evaluation by either method (= hybrid seismic surveying). The disadvantages of one technique are offset by the benefits of the other. This results in an enhanced information content of the data and in improved resolution.

The method is recommended for near surface investigations in geologically complex situations with poorly defined acoustic impedance contrasts at the layer boundaries. By using the refraction diving wave tomography approach for the investigation of the uppermost 30 m, better results are usually obtained than by applying the high resolution reflection seismic method. The latter is more suitable for prospecting irregularly shaped non-planar layer boundaries in depth ranges deeper than 15 m below the surface.

The key to the successful application of the hybrid seismic method is a high spatial data density defined by small receiver station spacings on one hand, and by an adequately long spread lay-out on the other.

For the presentation of the final results, the continuous wave field derived by the diving wave tomographic evaluation is transparently overlain the reflection seismic section. The direct correlation of the results by the two independent methods simplifies the interpretation since the geological structures are more easily identifiable.

1. Methodik und Fallbeispiele

Bei ingenieurgeologischen Untersuchungen diktiert bis anhin einerseits die geologische Fragestellung, andererseits die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel die Wahl des seismischen Erkundungsverfahrens.

Die aufwändigere, hochauflösende Reflexionsseismik ist in der Lage, komplexe geologische Verhältnisse mit hoher Auflösung abzubilden. Sie stösst jedoch an ihre Grenzen, wenn oberflächennah, d.h. in den obersten 5–15 m unter OK Terrain, erkundet werden soll, da bei geringen Erkundungstiefen zur Erhöhung des Auflösungsvermögens mit sehr kleinen Empfänger- und Anregungsabständen gearbeitet werden muss.

Die herkömmliche, kostengünstige Refraktionsseismik (Frei 1995) liefert nur bei flachen, oberflächennahen Erkundungen und bei einfachen geologischen Verhältnissen verwertbare Aussagen. Leistungsfähige Rechenanlagen und benutzerfreundliche Software haben durch die Anwendung tauchwellentomographischer Lösungsansätze zu einer markanten Aufwertung des refraktionsseismischen Verfahrens geführt.

Einer erfolgreichen Untersuchung nach dem tomographischen Prinzip liegt die Anforderung zu Grunde, dass der Untergrund durch eine grosse Anzahl von Wellenstrahlen in möglichst vielen Richtungen durchlaufen wird. Dies setzt eine dichte Abfolge von Sender- und Empfängerstationen voraus, wie sie bei der reflexionsseismischen Methode praktiziert wird. Zur refraktionsseismischen Erfassung des gewünschten Tiefenbereiches ist jedoch die Regel zu beachten, dass die Länge der Empfängerauslage etwa 4 mal grösser als die anvisierte Tiefe sein muss. In Anbetracht der kleinen Empfängerabstände folgt zwangsläufig, dass pro Anregung eine grosse Anzahl Empfängerstationen aktiviert werden müssen. Die Praxis verlangt deshalb eine Messapparatur mit 120–200 Kanälen.

In der nachstehenden Tabelle sind die methodischen Unterschiede der Verfahren der Refraktionsseismik und der Reflexionsseismik sowie die damit verbundenen Vor- und Nachteile aufgeführt:

Verfahren	Methodik	Vorteile	Nachteile
Herkömmliche Refraktions-seismik (Intercept-Time, Plus-Minus Generalized Reciprocal Method)	<p>Die Ausbreitung der seismischen Energie geschieht vorwiegend subhorizontal entlang der Erdoberfläche (refraktierte Tauchwellen);</p> <p>Länge der Empfängerauslage mindestens das Vierfache der Erkundungstiefe;</p> <p>Grosse Empfängerstationsabstände und grosse Anregungsabstände;</p> <p>Es werden nur die Laufzeiten der Ersteinsätze ausgewertet.</p>	<p>Kostengünstigstes Verfahren bei einfacher Fragestellung, z.B. horizontalem 2-Schichtenfall;</p> <p>Geringe Investitionskosten;</p> <p>Oberflächennahe Erkundung möglich.</p>	<p>Auswertungsergebnis als subjektiv gefärbtes geologisches Modell;</p> <p>Schlechtes Auflösungsvermögen; d.h. bei komplexer Geologie ungeeignet;</p> <p>Geschwindigkeitsinversionen in der Regel nicht kartierbar;</p> <p>Erkundungstiefe beschränkt.</p>
Hybride Seismik	Refraktions-seismische Tauchwellentomographie <p>Die Ausbreitung der seismischen Energie geschieht vorwiegend subhorizontal entlang der Erdoberfläche (refraktierte Tauchwellen);</p> <p>Länge der Empfängerauslage mindestens das Vierfache der Erkundungstiefe;</p> <p>Empfängerabstände in der Regel etwa 1/20 der Erkundungstiefe;</p> <p>Anregungsabstände nicht grösser als das Dreifache der Empfängerabstände;</p> <p>Es werden nur die Laufzeiten der Ersteinsätze für die Ableitung des Geschwindigkeitsfeldes ausgewertet.</p>	<p>Das Geschwindigkeitsfeld wird kontinuierlich abgebildet;</p> <p>d.h. auch Geschwindigkeitsinversionen werden erfasst;</p> <p>Detaillierte Kartierung des oberflächennahen Tiefenbereichs;</p> <p>Datenakquisition ohne zusätzlichen Aufwand zusammen mit der Reflexionsseismik.</p>	<p>Erkundungstiefe beschränkt;</p> <p>Investitionskosten und Aufwand für die Datenakquisition vergleichbar mit der Reflexionsseismik;</p> <p>In grösseren Tiefen herabgesetztes Auflösungsvermögen.</p>
	Reflexions-seismik <p>Die Ausbreitung der seismischen Energie erfolgt subvertikal nach dem Echolotprinzip;</p> <p>Empfängerabstände in der Regel kleiner als 1/40 der Erkundungstiefe;</p> <p>Länge der Empfängerauslage etwa gleich gross wie die Erkundungstiefe;</p> <p>Schussabstände in der Regel nicht grösser als das Doppelte der Empfängerabstände;</p> <p>Geologische Strukturen werden diskret im Raum abgetastet</p>	<p>Die EDV-Auswertung liefert direkt und ohne subjektiv gefärbte Einflüsse ein röntgenbildartiges Abbild der Untergrundstrukturen;</p> <p>Geeignet für die Erkundung grösserer Tiefenbereiche;</p> <p>Generell das beste Auflösungsvermögen aller geophysikalischen Prospektionsmethoden.</p>	<p>Aufwändige Datenakquisition;</p> <p>Geschwindigkeitsinversionen nur mit Einschränkungen kartierbar;</p> <p>Oberflächennaher Tiefenbereich schlecht erfassbar;</p> <p>Je nach geologischer Komplexität aufwändige EDV-Auswertung.</p>

HYBRIDE SEISMIK: Kombination von Refraktions- und Reflexionsseismik in einem Arbeitsgang

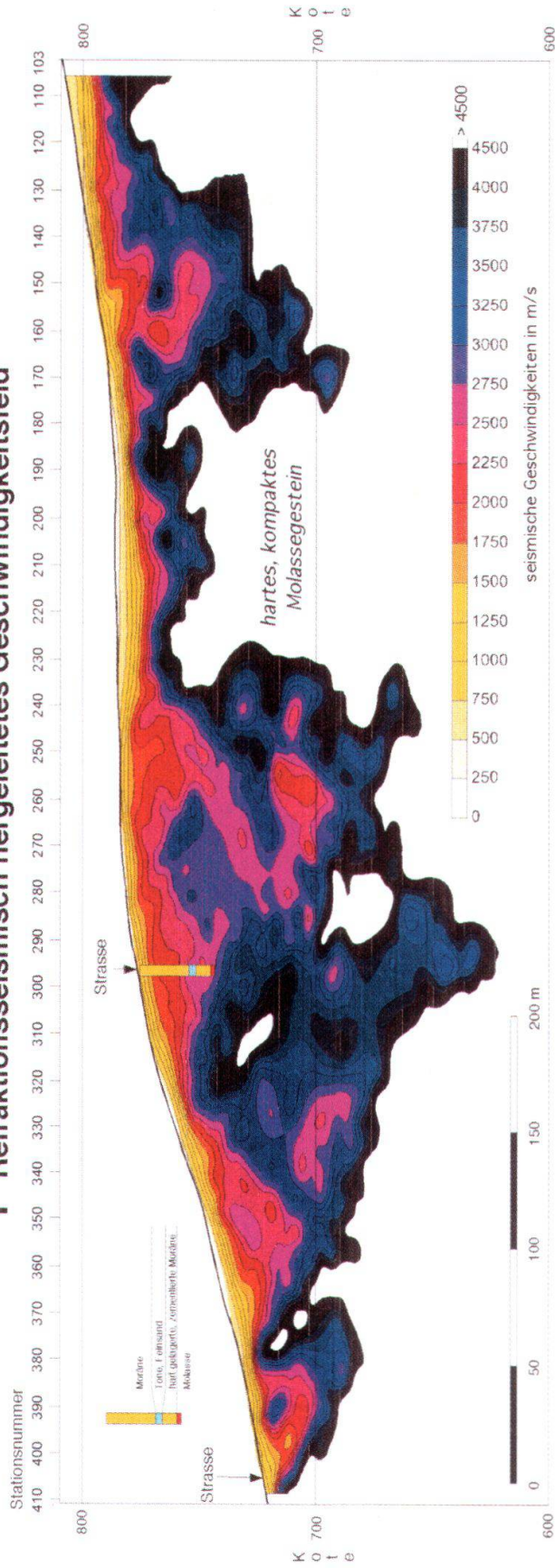
Merkmale:

- kleine Empfängerstationsabstände für bestmögliche reflexionsseismische Auflösung
- lange Auslage mit vielen Kanälen für grösstmögliche refraktionsseismische Eindringtiefe
- Anregungsabstände nicht grösser als 3 x Empfängerabstand für generell hohe Datendichte (benötigt für refraktionsseismische Tauchwellentomographie & reflexionsseismische Überdeckung)

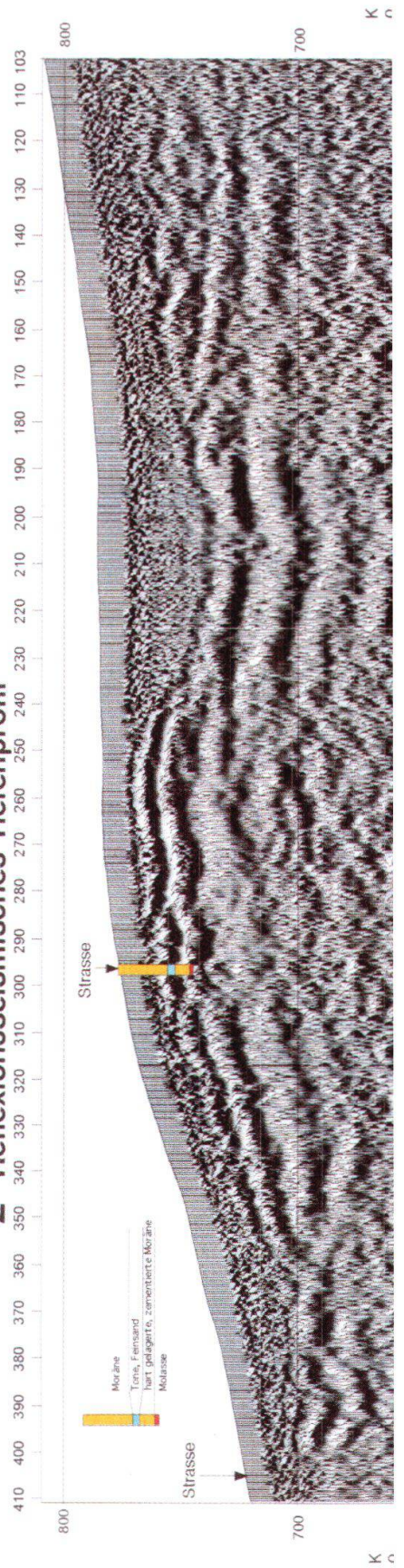
Messbeispiel mit typischen Feldparametern:

- Empfängerstationsabstand : 2 m
- Anzahl Kanäle : 216
- Schussabstand : 3 m
- Überdeckungsgrad : 72-fach
- Energiequelle : Sprengstoff (100 g)

1 Refraktionsseismisch hergeleitetes Geschwindigkeitsfeld



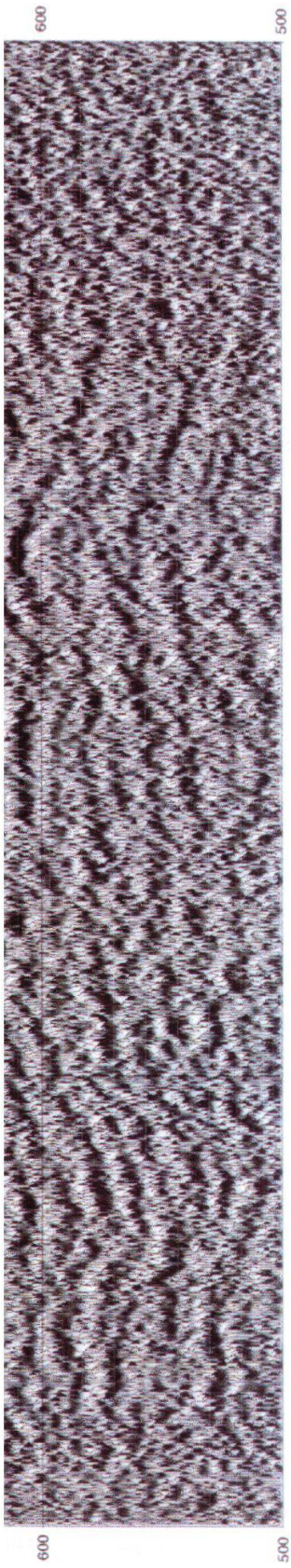
2 Reflexionsseismisches Tiefenprofil



1

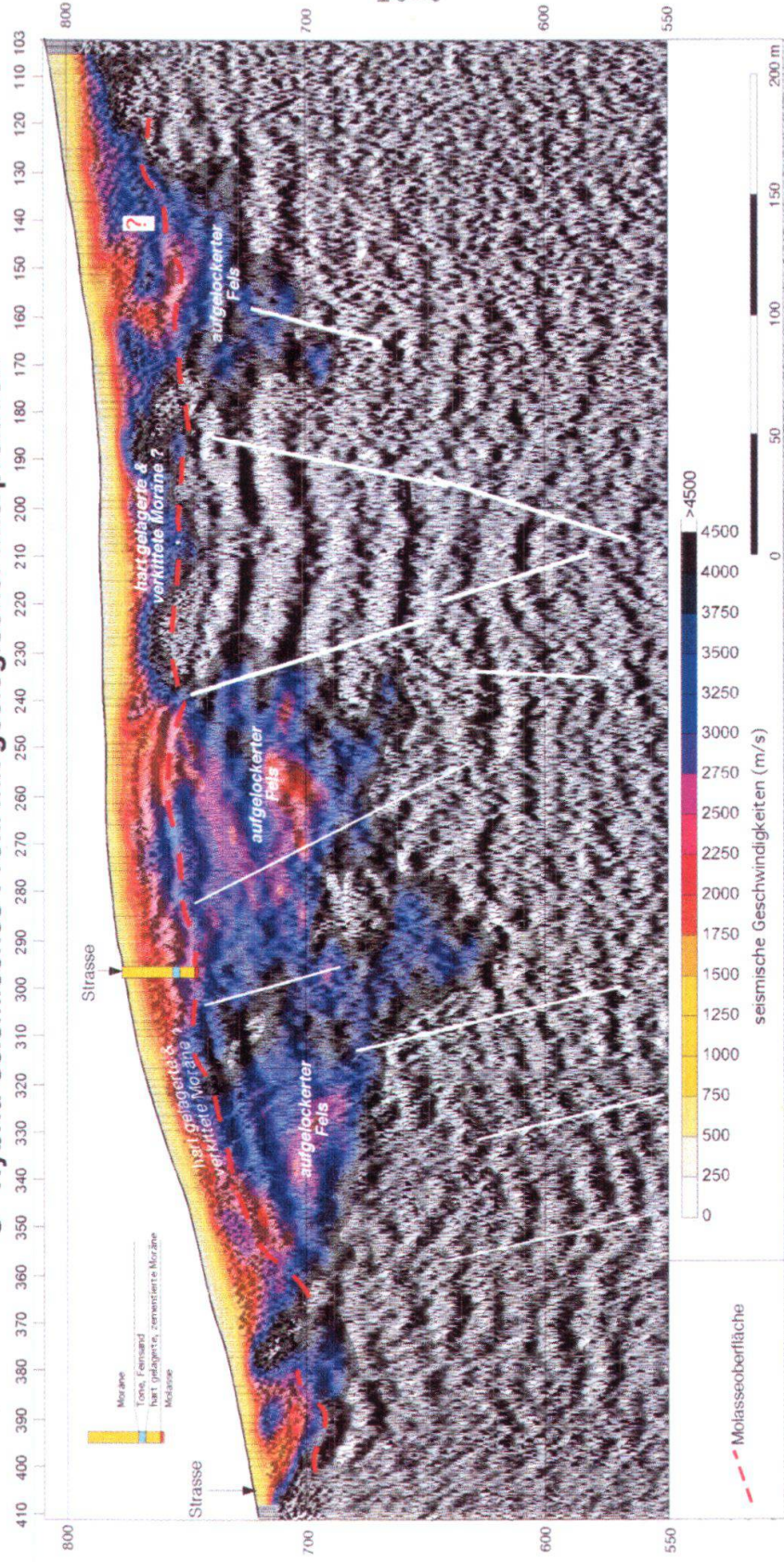
+

2



==

3 Hybrid-seismisches Profil mit geologischer Interpretation



3

Publikation mit freundlicher Genehmigung der Sources Minérales Henniez SA, CH-1525 Henniez

Fig. 1: Graphische Darstellung der Methodik anhand einer Untersuchung für die Erschliessung von Mineralwasservorkommen.

Die hybride Seismik vereinigt die Vorteile der Reflexionsseismik und der refraktionsseismischen Tauchwellentomographie. Sie bezeichnet die Erfassung eines Datensatzes, der sowohl reflexions- als auch refraktionstomographisch ausgewertet wird, in einem Arbeitsgang.

Die beiden Auswertungsverfahren sind voneinander unabhängig und ihre Aussagen somit in idealer Weise komplementär. Die geologische Interpretation wird dadurch vereinfacht und gewinnt an Aussagesicherheit.

Sowohl für die reflexionsseismische EDV wie auch für die refraktionsseismische Tauchwellentomographie sind Standardsoftwarepakete für PC's auf dem Markt erhältlich.

Hybridseismische Erkundungen werden zur Bestimmung der Felsoberkante und zur Kartierung von Schwäche- und Auflockerungszonen im Untergrund im Rahmen von ingenieur- und hydrogeologischen Fragestellungen durchgeführt. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Bestimmung möglicher Gleithorizonte und die Lokalisierung durchlässiger Zonen mit erhöhter Wasserwegigkeit an rutschgefährdeten Hängen.

In Fig. 1 ist die Methode an Hand eines Fallbeispiels graphisch dargestellt. Die Daten wurden zur sprengseismischen Kartierung von Schwächezonen in der Molasse im Rahmen eines Programms für die Erschliessung neuer Mineralwasservorkommen im Auftrag der Sources Minérales Henniez S.A. erhoben. Die Schlüsselparameter bei der Feldaufnahme sind die grosse Anzahl von 216 aktiven Datenkanälen mit Empfängerabständen von 2 m und Schussabständen von 3 m.

Die obere Darstellung 1 zeigt das refraktionsseismisch hergeleitete Geschwindigkeitsfeld. Die Geschwindigkeitswerte beschreiben in den obersten 50–80 m Zonen mit markant verschiedenen Gesteinsfestigkeiten, die als Störungen oder Verwitterungserscheinungen zu deuten sind. In Figur 2 in der Mitte ist die reflexionsseismische Sektion dargestellt. Sie gibt Hinweise auf die allgemeinen Lagerungsverhältnisse und Strukturen des Molassegesteins. Die Abbildung 3 unten ist die vereinte hybrid-seismische Darstellung der Ergebnisse der refraktionstomographischen und der reflexionsseismischen Auswertungsmethoden. Die Ergebnisse wurden zur Positionierung einer Erkundungsbohrung verwendet.

Fig. 2 zeigt den Befund einer flachen hybrid-seismischen Erkundung der Felsoberfläche im Rahmen von Abklärungen für den Bau eines Hochwasserentlastungsstollens. Als Feldparameter wurden 144 Kanäle, Geophonabstände von 1 m, und Anregungsabstände von 2 m verwendet. Als seismische Energiequelle diente ein 8 kg Vorschlaghammer.

Das Profil quert im unteren Teil zwischen den Stationen 100 und 180 eine rund 25 m tiefe Rinne in spitzem Winkel zu deren Achse. Durch die seitlich von den abtauchenden Rinnenflanken einfallenden Refraktions- und Reflexionseinsätze wird deren Geometrie verzerrt dargestellt. Die Sohllentiefe ist in der Grössenordnung der Breite der Rinne und somit seismisch nicht eindeutig kartierbar. Die eingezeichnete Sondierbohrung hat bei 15 m Tiefe den Fels nicht erreicht, woraus zu schliessen ist, dass sie über der abtauchenden Flanke steht. Die Interpretation zeigt die vermutete Form der Rinne.

Hybrid-seismisches Tiefenprofil

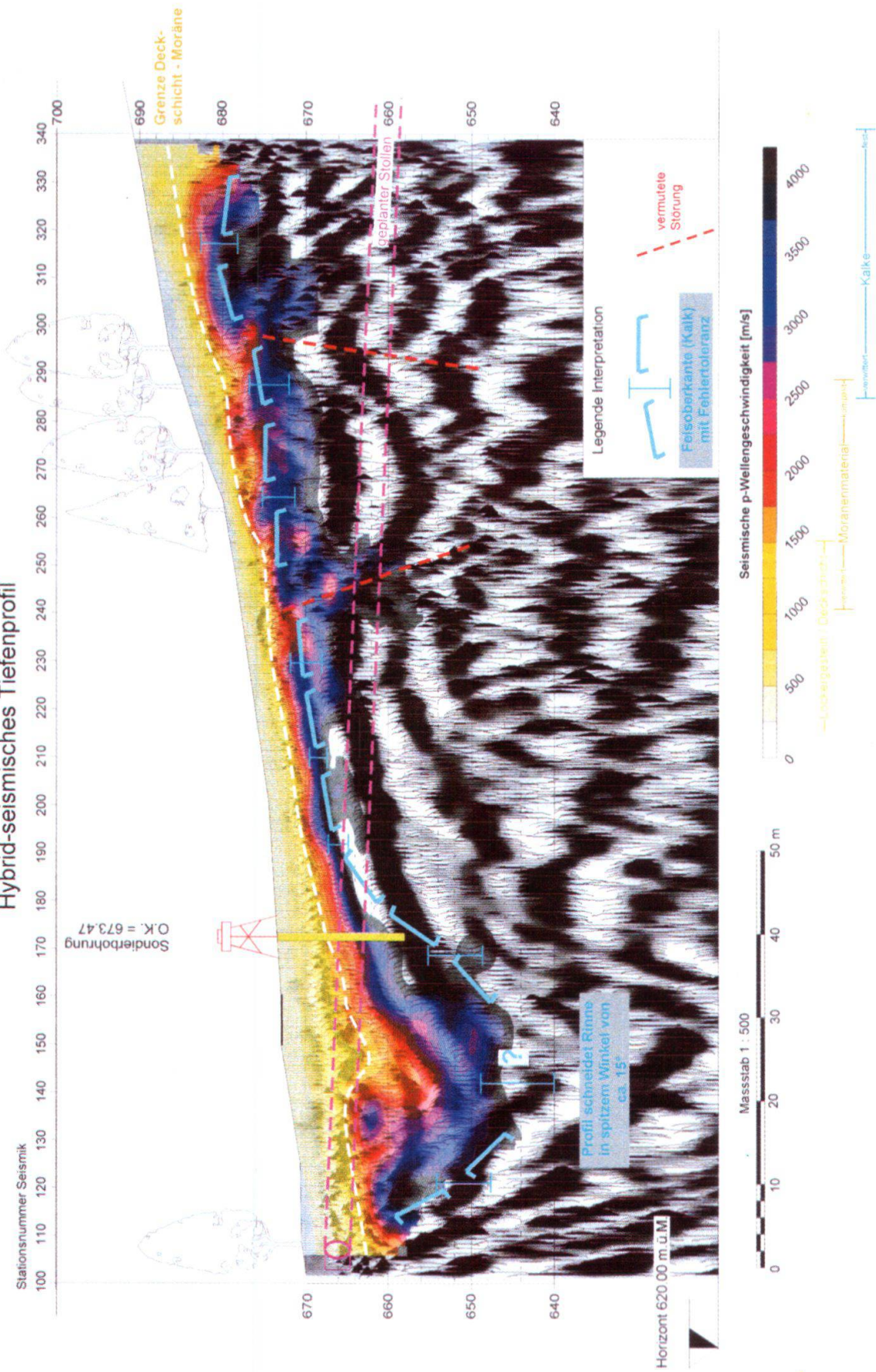


Fig. 2: Hochauflösende hybride Hammerschlagseismik mit 0.5 m Geophonabstand, Länge der aktiven Auslage 72 m (= 144 Kanäle) für eine Baugrund-untersuchung.

2. Zusammenfassung

Das Verfahren der hybriden Seismik ist eine Kombination von hochauflösender Reflexionsseismik mit der refraktionsseismischen Tauchwellentomographie. Durch die komplementären Aussagen der beiden voneinander unabhängigen Methoden wird das Informationspotential seismischer Daten voll ausgeschöpft und die geologische Interpretation erleichtert.

Die praktischen Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig mit dem Schwergewicht auf Erkundungen von quartären Ablagerungsstrukturen und -mächtigkeiten sowie Kartierungen von Schwäche- und Störungszonen im Grundgebirge.

Literatur

FREI, W. 1995: Zeitgemässe Refraktionsseismik. Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., 62/140, 1-16.