

Donnerstag 18. Oktober 2012

14:00-14:30

## Hochauflösende Seismik in der Hydrogeologie - ein gelungenes Beispiel aus dem Vorarlberger Rheintal

Rufus Bertle<sup>1</sup>, Walter Frei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ZT Büro GEOGNOS Bertle GmbH, A-6780 Schruns

<sup>2</sup>GeoExpert AG, Seismische Untersuchungen, CH-8424 Embrach / Schweiz

### Aufgabenstellung

Im Rahmen einer Gesamtmodellstudie der hydrogeologischen Verhältnisse im Vorarlberger Rheintal wurden im Auftrag der Abteilung Wasserwirtschaft (VIId) des Amtes der Vorarlberger Landesregierung auf dem Gebiet der Stadt Bregenz und der Gemeinden Lauterach und Wolfurt mit dem hybridseismischen Verfahren die Untergrundstrukturen bis Tiefen von rund 400 m kartiert.

Die Messkampagne wurde vom

- a) Land Vorarlberg,
- b) den Illwerken VKW AG,
- c) und aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert.

Das Augenmerk der Untersuchung richtet sich primär auf die Bestimmung des Verlaufs und der Tiefenlage der Felsoberfläche sowie auf die Kartierung der Ablagerungsstrukturen der Bregenzerach-Schwemmfächer. Nach Möglichkeit sind zudem hydrogeologisch relevante Störungszonen im Felsuntergrund aufzuzeigen.

Das Erkundungsprogramm umfasst 5 seismische Profile mit einer Gesamtlänge von über 8.5 km (s. Situationsplan Abb. 1 unten).

## **2 DIE FELDARBEITEN ZUR DATENERFASSUNG**

### **Die seismische Energiequelle**

Die seismischen Profile liegen durchwegs in bebauten Gebieten und z. T. entlang stark befahrener Strassen.

Auf Grund der allgemeinen stark störenden Bodenunruhe, besonders entlang der Arlbergstrasse als Hauptverkehrsader (Profil 1 in Abb. 4) kam der Art der seismischen Quelle für die angestrebte Erkundungstiefe von 400 m eine besondere Aufmerksamkeit zu.

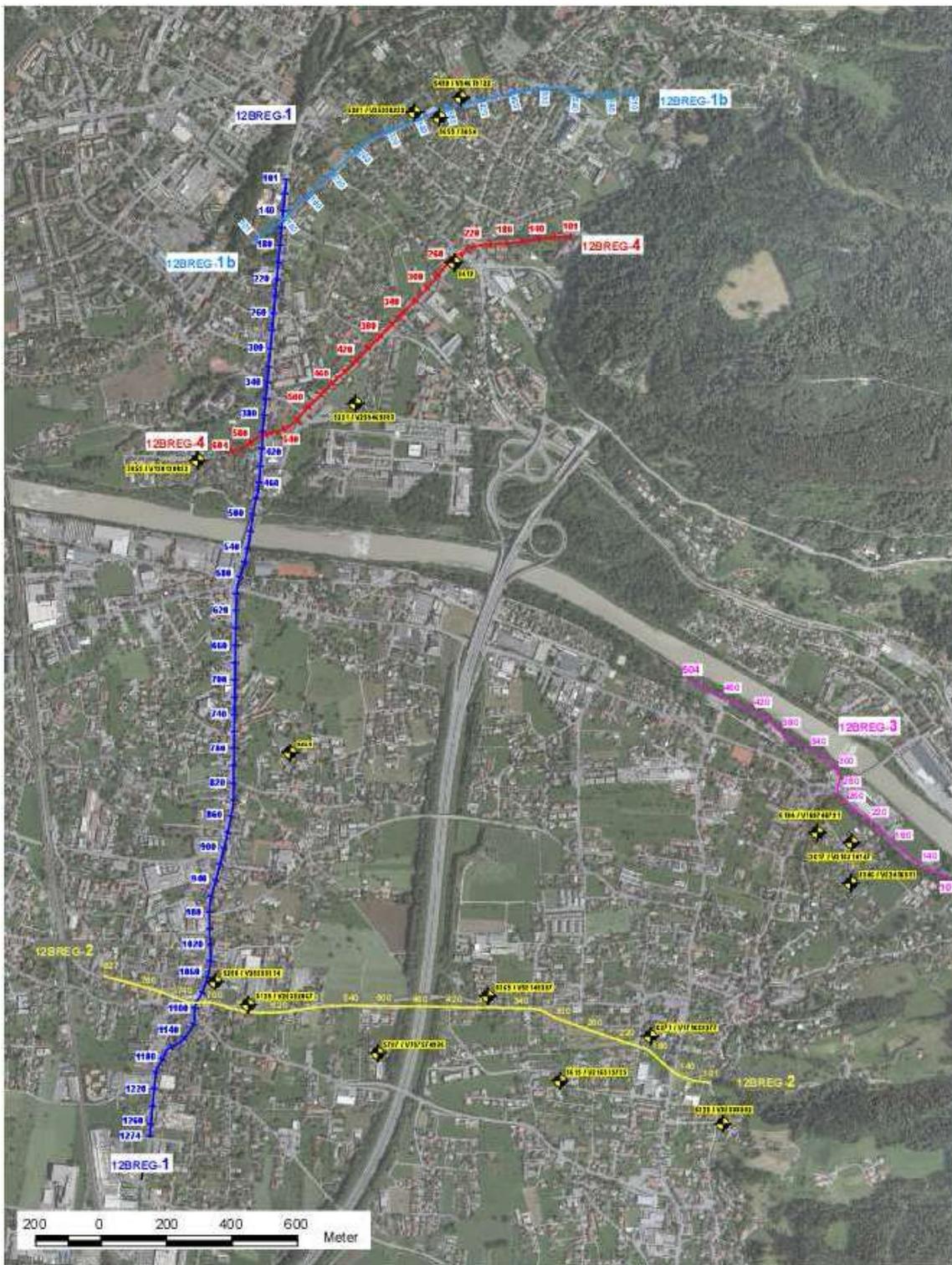
Die Ergebnisse der ersten beiden Messtage mit einem größeren Fallgewicht als seismische Quelle (s. Abb. 2) ergaben jedoch die Gewissheit, dass diese Art der Energieanregung ausreicht.

### Die Geophonauslage

Da auch Felstiefen von weniger als 100 m zu erwarten waren, war es angezeigt, dass im Interesse einer optimalen Auflösung in diesem obersten Tiefenbereich die Abstände zwischen den Geophonstationen nicht größer als 2.5 m gewählt wurden.

Für eine möglichst hohe Erkundungstiefe des bei der hybriden Seismik in Kombination mit hochauflösender Reflexionsseismik angewandte refraktionsseismische Verfahren der Tauchwellentomographie ist eine entsprechend lange Geophonauslage erforderlich. Methodisch bedingt muss diese rund vier Mal größer als die gewünschte Erkundungstiefe betragen.

Die eingesetzte Messapparatur verfügt über 360 Kanäle, was einer aktiven Auslage von rund 900 m (360 x 2.5 m), d.h. einer theoretischen Erkundungstiefe von > 200 m (900 m / 4), entspricht. Beim kontinuierlichen Profilschiessen (*roll-along*) wird das Verfahren der variablen asymmetrischen *split spread* Auslage angewandt. Dabei wird über die ganze Länge der stationären 800 m langen Auslage in vorerst 10 m Abständen angeregt. Ab Mitte der Auslage werden die Anregungsabstände auf 20 m verdoppelt. Danach wird die gesamte Auslage um die Hälfte ihrer Länge, d.h. um 400 m, in Arbeitsrichtung verschoben. Die Quelle wird ans - nunmehr neue - rückwärtige Ende Auslage verschoben, von wo sie nun in 20 m Abständen, zwischen den im ersten Zyklus ausgelassenen Punkten wieder aktiv wird. Dieses Vorgehen des sukzessiven Verschiebens der Auslage um die Hälfte ihrer Länge gewährleistet einen Datensatz mit einer lückenlosen Überdeckung des Untergrunds mit refraktionstomographischen Aufzeichnungen über die größtmöglichen Sender-Empfänger Abstände.



 Amt der Vorarlberger Landesregierung Wasserwirtschaft	Geophysikalische Erkundung der Bregenzerach - Schwemmfächer		 EUROPÄISCHER FONDS FÜR REGIONALE ENTWICKLUNG
	Lageplan der seismischen Profile und der Standorte relevanter Bohrungen		
GeoExpert ag Seismische Untersuchungen Oberfeldgasse 9 CH-8514 Amriswil-Blasleg Tel. +41 71 852 60 70, Fax +41 71 852 60 71 info@geoexpert.ch, www.geoexpert.ch	erstellt von L. Keller, Ph. Corboz & W. Frei	Datum März 2012	Beilage A zum Bericht vom 30.03.2012

**Abb. 1:** Lageplan der seismischen Profile auf dem Gebiet der Stadt Bregenz und der Gemeinden Lauterach und Wolfurt



**Abb. 2:** Fallgewicht im Einsatz auf der stark befahrenen Arlbergstrasse: Ein 360 kg schwerer Stempel schlägt aus 4 m Höhe in freiem Fall auf eine Hartgummiplatte.



Entgegen den Erwartungen hatte die durch den starken Verkehr verursachte Bodenunruhe nicht die im befürchteten Ausmaß eingetretene Qualitätseinbusse zur Folge. Bei den Registrierarbeiten wurde jeweils darauf geachtet, dass diese während der Vorbeifahrt von Lastwagen und Bussen kurzzeitig unterbrochen wurden. Zudem wurden während der Spitzenverkehrszeiten nach Möglichkeit Arbeiten mit dem Umbau und dem Auslegen des Messdispositivs, also keine eigentlichen Registrierarbeiten, durchgeführt.

**Abb. 3:** Geophonauslage bei einer der zahlreichen Einfahrten zu Vorplätzen, Garagen und Quartierstrassen.

Eine große Herausforderung bei innerstädtischen seismischen Erkundungen sind die zahlreichen größeren Park- und Vorplätze vor Wohnhäusern und Gewerbebauten, auf denen wegen der häufigen Zu- und Wegfahrten von Autos größere Lücken in der Geophonauslage in Kauf genommen werden müssen, was die Datendichte und folglich auch den Informationsgehalt eines seismischen Profils beeinträchtigt.

### 3 Zusammenfassung der seismischen Registrierparameter

Auslagetyp	variabel asymmetrische stationäre Aufstellung
Länge aktive Geophonauslage	bis 900 m
Anzahl aktiver Kanäle	bis 360
Empfängerabstände	2.5 m
Anzahl Geophone pro Station	1
Geophontyp	10 Hz
Anregungsabstand	7.5 - 10.0 m
Fallgewichte der Typen Höhe; und	<b>FFWD-GX</b> (freier Fall eines 360 kg Stempels aus 4 m <b>BISON EWG III</b> (mit vorgespannten Gummibändern beschleunigter Fall
Messapparatur	eines 250 kg Stempels aus 60 cm Höhe) SmartSystem (360 Kanäle & 24 bit A/D Wandlung) <input type="checkbox"/> <a href="http://www.seismicinstruments.com">www.seismicinstruments.com</a>
Abtastrate	0.5 Millisekunden
Horchzeit	1'000 Millisekunden
Hochpassfilter (2-Pol)	8 Hz
Tiefpassfilter	anti-alias

### 4 Die geologische Interpretation

Die von GeoExpert AG übermittelten hybridseismischen Profile wurden anhand von Felsaufschlüssen und verfügbaren Bohrdaten unter Berücksichtigung der quartären Talentwicklung interpretiert. Die Talverfüllung des Rheintales seit dem Ende der letzten Eiszeit ist durch die komplexe Interaktion von Schüttungen des Rheines in den Urbodensee mit den seitlichen Flusszubringern (wie z.B. der Bregenzerach) charakterisiert. Zusätzlich sind die Ablagerungen des Rhein-Illgletschers zu berücksichtigen, die vermutlich im Untergrund des Bereiches Kennelbach – Herzenmoos / Bregenz noch erhalten sind.

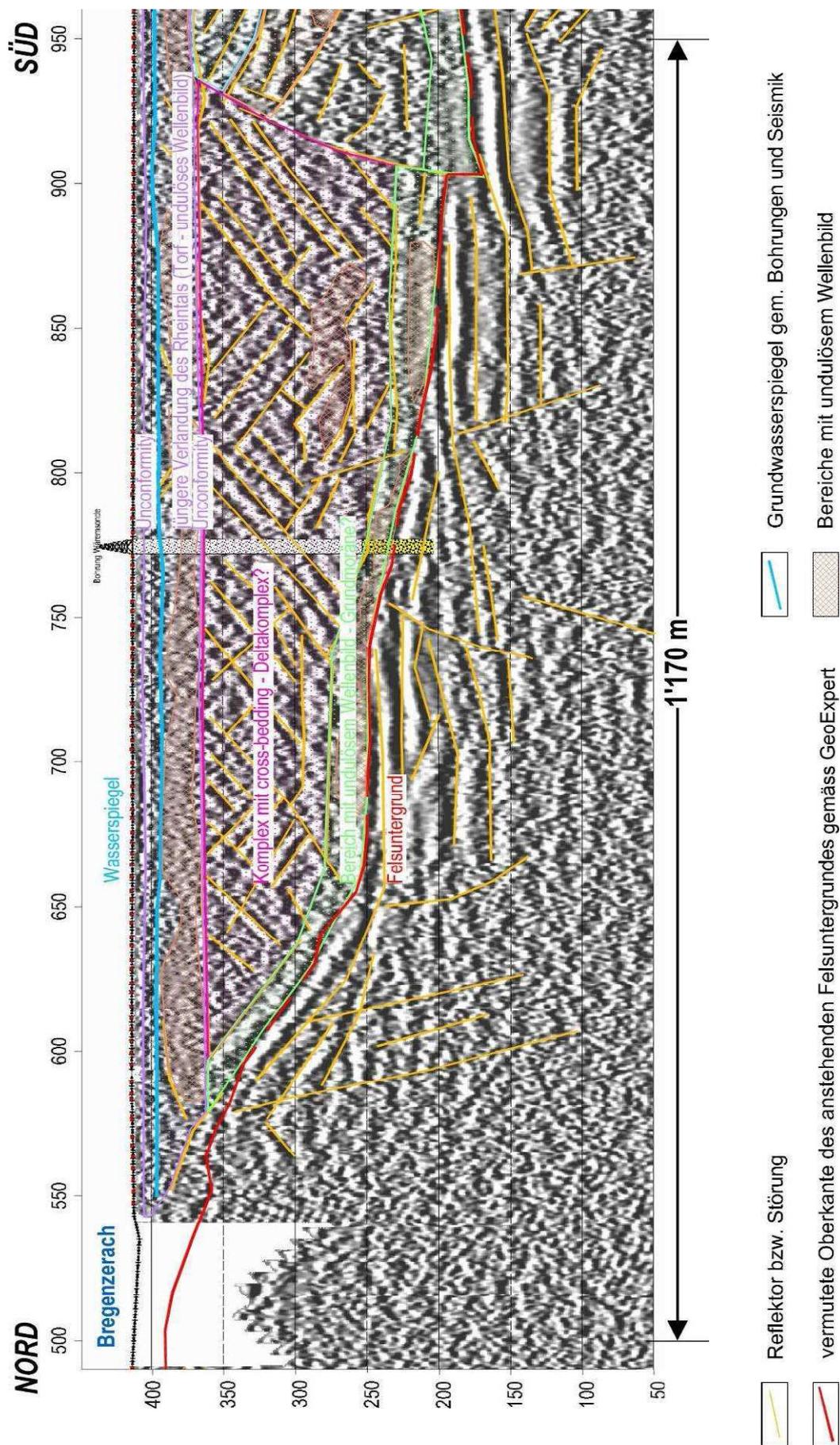
Die Interaktion der 3 fluviatilen Systeme Bodensee – Rhein-Schüttung – Bregenzerach-Schüttung zeichnet sich in den hybridseismischen Profilen durch verschiedene Reflektoren ab und kann daher im sequenz-stratigraphischen Sinne interpretiert werden. Während in der klassischen Sequenzstratigraphie Meeresspiegelschwankungen zur Ausbildung unterschiedlicher Sedimente führen, sind die Ablagerungsbedingungen im Raume Wolfurt – Lauterach – Bregenz – Hard durch die geographische Lage und die Wasserspiegelhöhe des Bodensees bzw. der verschiedenen Flüsse

bestimmt. Einerseits zeichnen sich Schüttungen in den Bodensee durch den Rhein vor allem durch feinkörnige Ablagerungen aus, während die Schüttungen der Bregenzerach durch ihre Grobkörnigkeit gekennzeichnet sind. Je nach Intensität der Wasserführung und der Richtung des Flusses können feinkörnige Ablagerungen des Rheines im Bodensee durch die Bregenzerach abgetragen und weiter in den Bodensee verfrachtet und andererseits bei längerer Niederwasserführung in der Bregenzerach verstärkt feinkörnige Sedimente durch den Rhein im Mündungsbereich der Bregenzerach abgelagert worden sein.

Diese Wechsellagerung zeichnet sich in den hybridseismischen Profilen einerseits durch verschiedene Delta-Schüttungen und andererseits durch verschiedene Erosionshorizonte (bzw. seismischen Diskordanzen) ab. Diese quartären Ablagerungen stehen in starkem Kontrast zur Oberfläche des anstehenden Felsuntergrundes (sofern dieser nicht tiefgründig verwittert ist). Daher kann die Lage der Felsoberfläche aus der Kombination der Wellengeschwindigkeiten und der Reflektionsdichte relativ genau festgelegt werden.

Schwierigkeiten treten in jenen Bereichen auf, in denen der anstehende Felsuntergrund durch feinkörnige dichte Moränenablagerungen (eventuell auch Riss-Eiszeit ?) direkt überlagert wird.

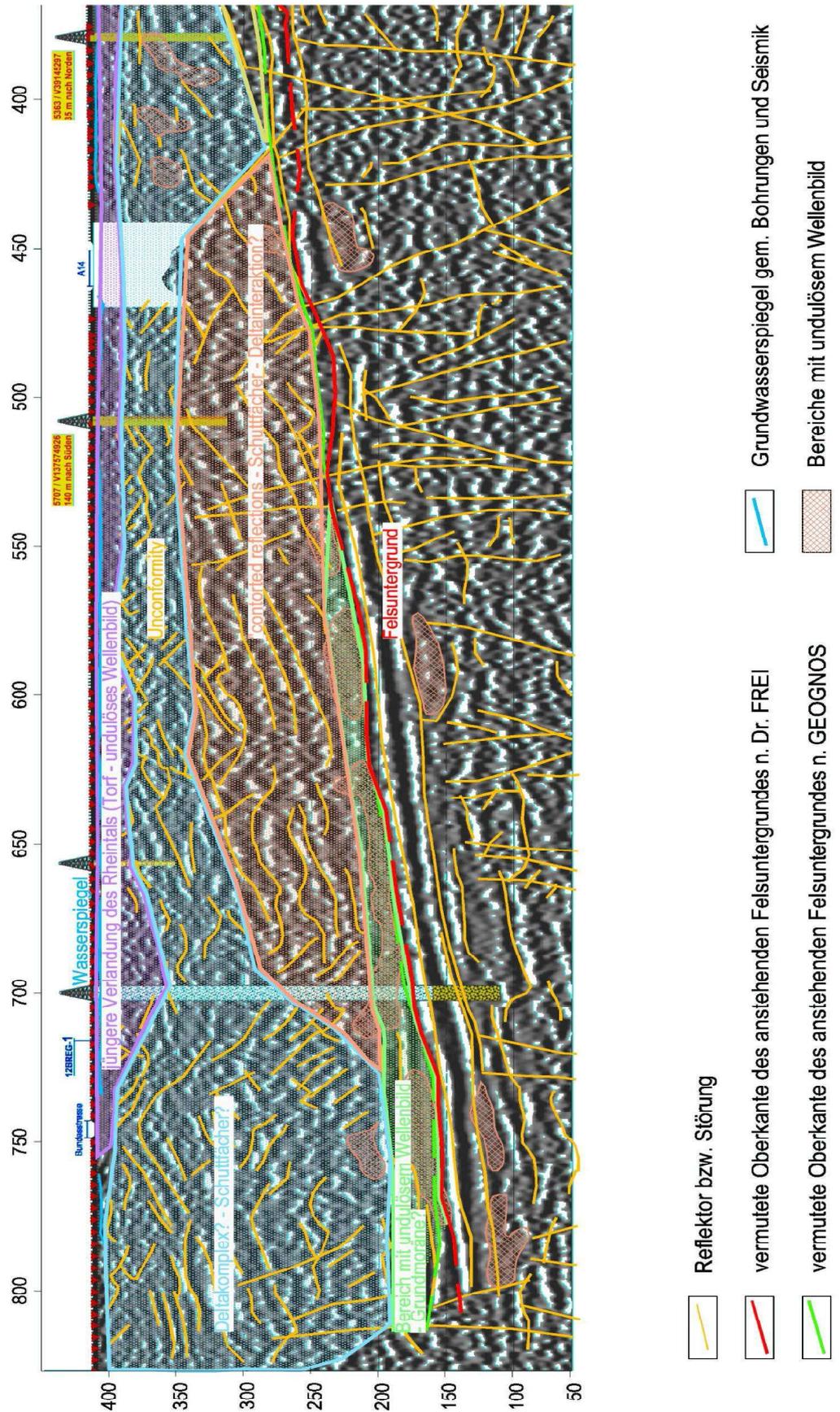
In hydrogeologischer Hinsicht weisen die Schüttungen der Bregenzerach auf Grund des größeren mittleren Korndurchmessers eine gegenüber den eher feinkörnigen Ablagerungen des Rheins erhöhte hydraulische Durchlässigkeit auf.



**Abb. 4:** Seismisches Profil 1 von der Bregenzerach Richtung Süden. Bei der Tiefbohrung schneidet dieses Profil bei Station 775 das W-E Profil 2 in Abb. 5 auf der nächsten Seite.

OST

WEST



**Abb. 5:** 1.3 km langer Profilabschnitt des seismischen Profils 2. Der Schnittpunkt mit dem N-S Profil 1 liegt nahe der Tiefbohrung bei Station 700.

Die Auswertung der hybridseismischen Profile in Kombination mit den vorhandenen Oberflächen- und Untergundaufschlüssen zeigt:

- die Felsoberfläche unter der quartären Verfüllung weist im Bereich Herzenmoos in Rinnenlängsachse eine Sattelstruktur auf, von der der Felsuntergrund gegen S und N mehr oder weniger steil abfällt. Der Scheitel des anstehenden des anstehenden Felsuntergrundes in diesem Bereich liegt auf ca. m 390 ü.M. Daher ist der Wasserdurchfluss von der Bregenzerach in Richtung Herzenmoos und weiter in Richtung des Bodensees im Vergleich zum Hauptgrundwasserstrom der Bregenzerach nur von untergeordneter, aber nicht von vernachlässigbarer Bedeutung.
- Vom Schluchtausgang der Bregenzerach im Bereich Kennelbach – Wolfurt fällt die Oberfläche des anstehenden Felsuntergrundes steil in einer Bogenform linksufrig des Achbachbettes gegen W ab und liegt im Bereich von Wolfurt mehr als 200 m unter der Geländeoberfläche.
- Die seit langem bekannten parallel zum Talrand des Rheintales verlaufenden Störungen zeichnen sich durch Störungsbündel in den seismischen Profilen ab. An wenigen Stellen pausen sich diese Störungen eventuell in die quartäre Talverfüllung durch.
- In allen seismischen Profilen zeichnet sich der Grundwasserspiegel durch einen markanten Reflektionshorizont ab.
- Bereiche mit undulösem Wellenbild in den hybridseismischen Profilen sind einerseits auf Auslöschungseffekte durch flach liegende Tunnel bzw. homogene Lockergesteinskörper unter einem markanten Reflektor (z.B. Oberkante Grundmoräne) und andererseits vermutlich auf wassergefüllte Linsen und Kanäle mit geringem Internkontrast zurückzuführen.

Mit der angewandten Messmethode des hybridseismischen Verfahrens in Kombination mit den Kenntnissen über die glaziale und postglaziale Talbildung und Talverfüllung sowie die Auswertung von Bohrungen, Wasserstandsmessungen und Aufschlusskartierungen konnte ein Untergrundrelief und eine Wasserträgerstruktur erarbeitet werden, das in hohem Ausmaß mit Durchflussmessungen und langjährigen Ergiebigkeitsmessungen übereinstimmt.