

Dornach: Bestimmung eines Wellengeschwindigkeitsprofils

Standort: Dornach, Solothurn

Seismische Station: keine

Methode: Arraymessungen, Inversion kombiniert mit H/V

Datum: April 2005

Messung durch: Hans-Balder Havenith

Auswertung durch: Donat Fäh, Hans-Balder Havenith

Geologische Daten: Erich Fäh (Bohrkataster BS /BL)

Dokumente:

Files und Daten: /mercalli/project/interreg3/Array_measurement/Dornach

Mächtigkeit (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Kommentar / Geologie
Ca.15	<1350	300-400	Deckschicht (Inkl. Bergsturzmaterial)
15-20		500-600	Bergsturzmaterial
60-70	1700-3000	500-650	Melettaschicht (Härteklasse 1)
		1800-2800	Geophysikalischer Fels

Tabelle: Vorgeschlagenes vereinfachtes Geschwindigkeitsmodell am Standort Dornach. Aufgrund der gemessenen Geschwindigkeiten entspricht der Standort einer Bodenklasse C oder E nach SIA261.

Geologie

Die oberste Schicht ist eine 2 Meter mächtige Deckschicht, welche aus Silt mit mässigem Ton- und Sandanteil besteht. Darunter befindet sich eine 25 bis 30 Meter mächtige Bergsturzmaterialablagerung. Über die Zusammensetzung dieser Bergsturzmassen sind keine Daten vorhanden. Es kann aber angenommen werden, dass sie Material aus dem Hauptrogenstein und dem Rauracien-Korallenkalk enthalten. Die Meletta Schichten bilden den geologischen Fels. Es sind dies graublau, glimmerführende Tone, welche mergelige Sandlagen besitzen. Die Härteklassierung der Meletta Schichten beträgt 1. Diese Klassierung, welche im Interreg Projekt eingeführt wurde, kann Werte zwischen 1 (weiches Gestein, wie z.B. Ton) und 5 (sehr hartes Gestein wie z.B. Granit) annehmen.

Das Schichtverzeichnis ist im Appendix A gegeben.

Kein Grundwasser.

Referenz: Bohrkataster BS /BL

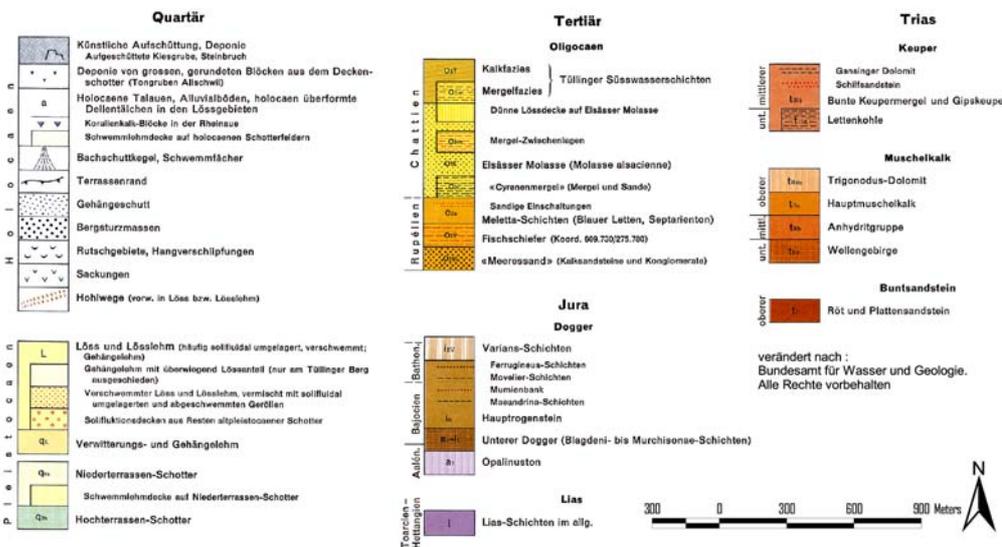
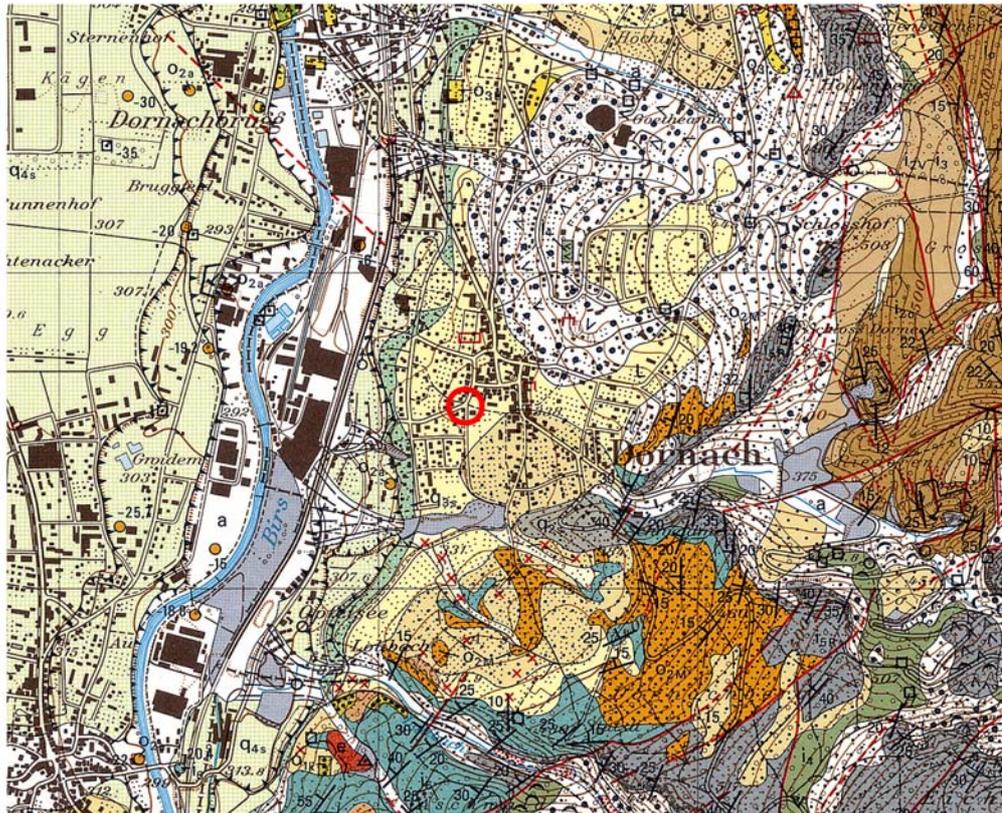


Abbildung 1. Oberflächengeologie beim Standort Dornach.

Messungen der Eigenfrequenz der Lockersediment-Ablagerungen

Abbildung 2 zeigt die Lage des Arrays Dornach. Ein H/V Spektrum an der zentralen Station des Arrays ist in Abbildung 3 gezeigt. Das gut ausgebildete Maximum bei der Resonanzfrequenz (1.6 Hz) deutet auf einen grossen Geschwindigkeitskontrast zwischen Fels und Lockersedimenten hin. Die H/V Analyse an den verschiedenen Stationen im Array zeigt (Abbildung 4), dass die Fundamentalfrequenz (1.4-1.8 Hz) und die Amplitude des H/V Peaks (~ 3) innerhalb des Arrays relativ konstant sind.

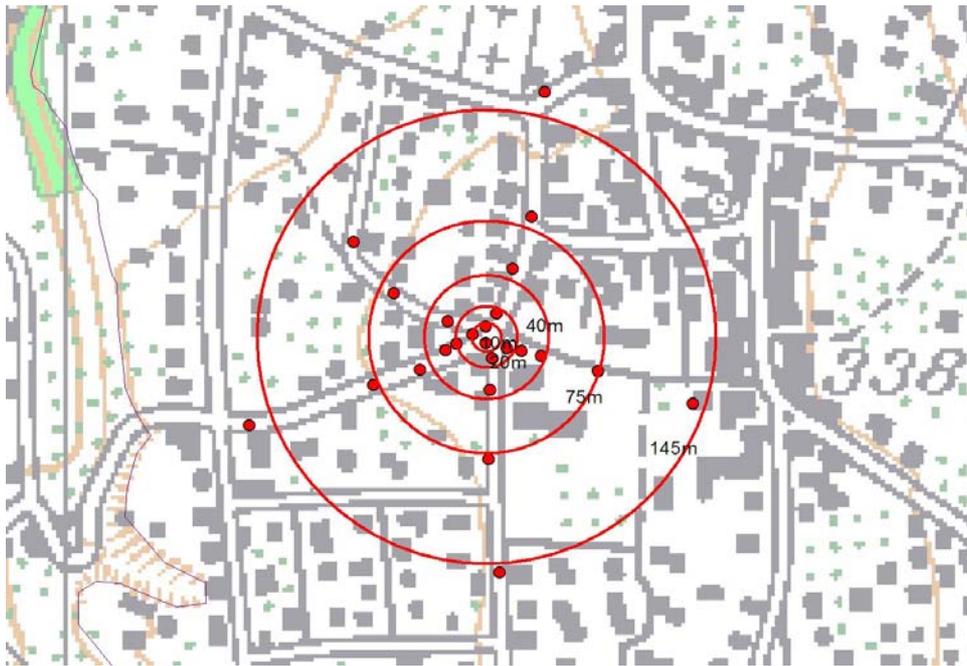


Abbildung 2. Angewandte Arraygeometrie am Standort Dornach (rote Punkte). Der Radius des äusseren Rings beträgt etwa 150m.

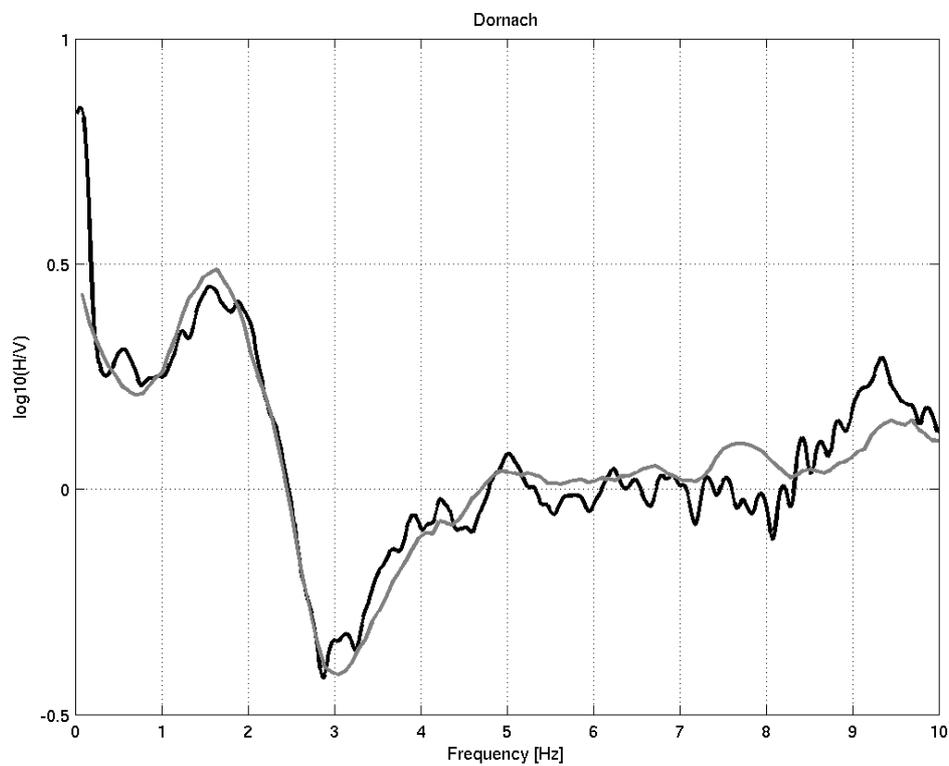
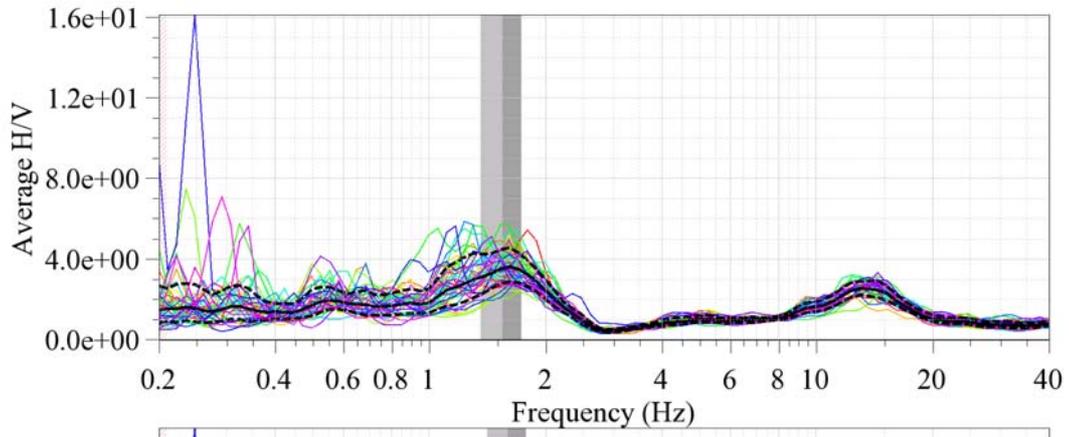
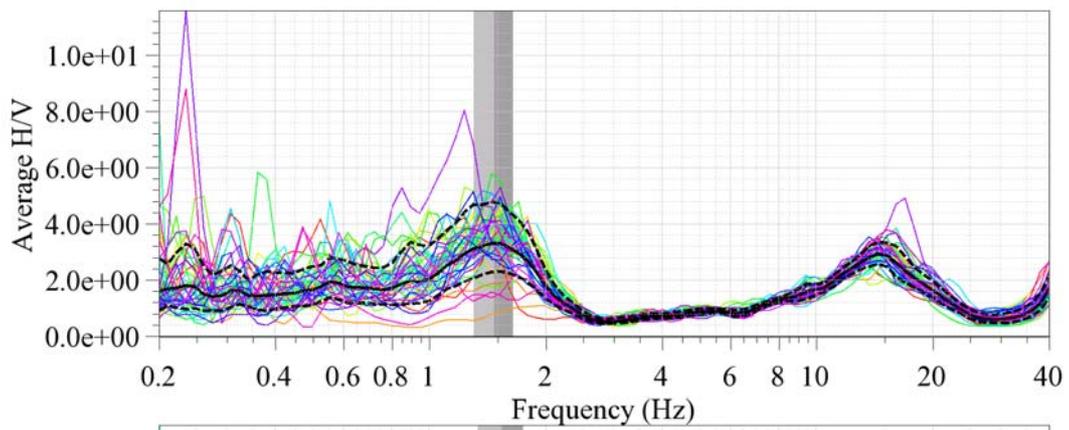


Abbildung 3. Resultat der H/V Polarisationsanalyse bei der zentralen Station des Arrays Dornach (schwarz: klassische Methode; grau: Frequenz-Zeit Analyse).

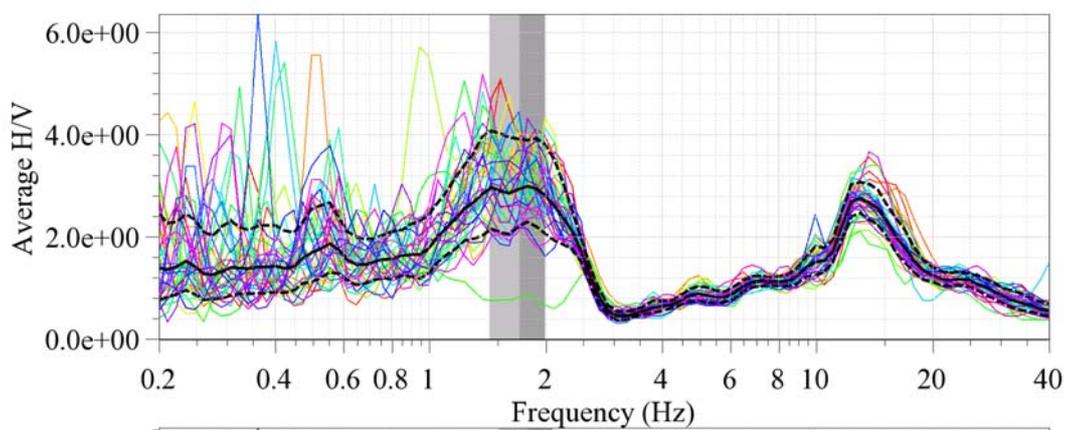
Array-Zentrum



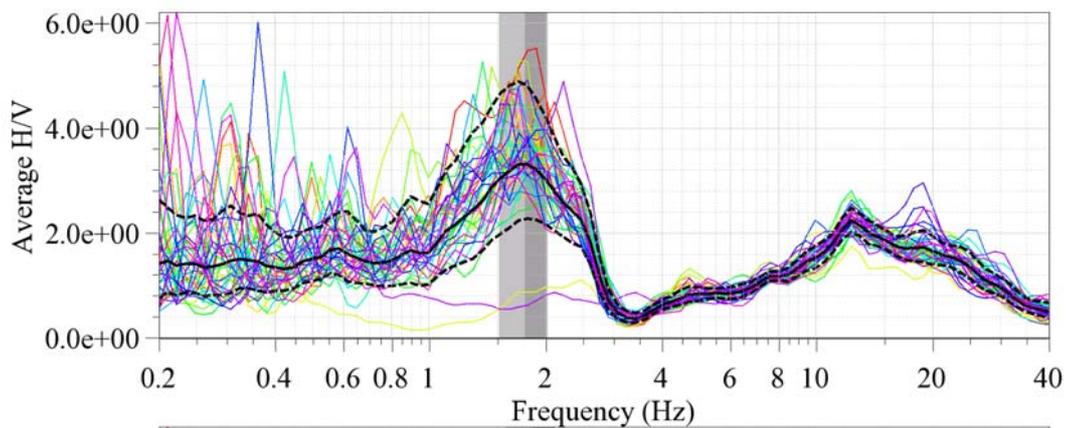
Ring3 Station Nord 10°



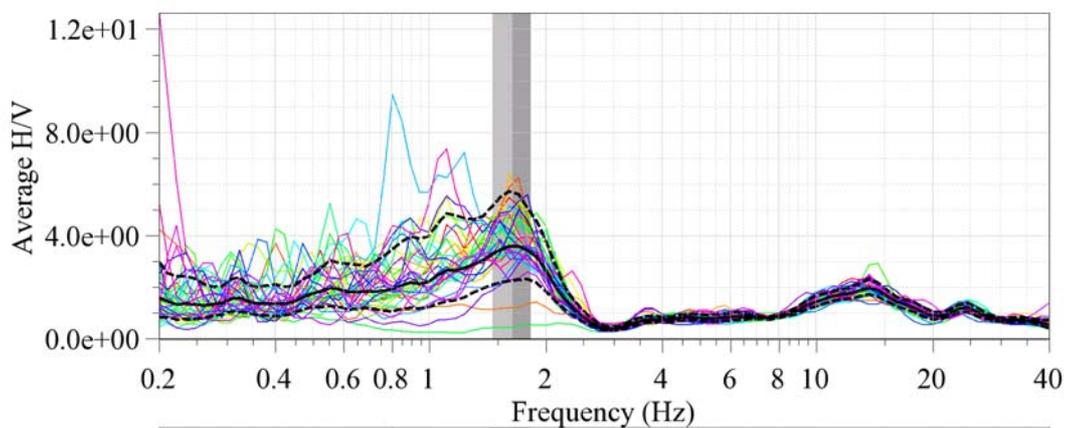
Ring3 Station North 100°



Ring3 Station Nord 180°



Ring3 Station Nord 260°



Ring3 Station Nord 330°

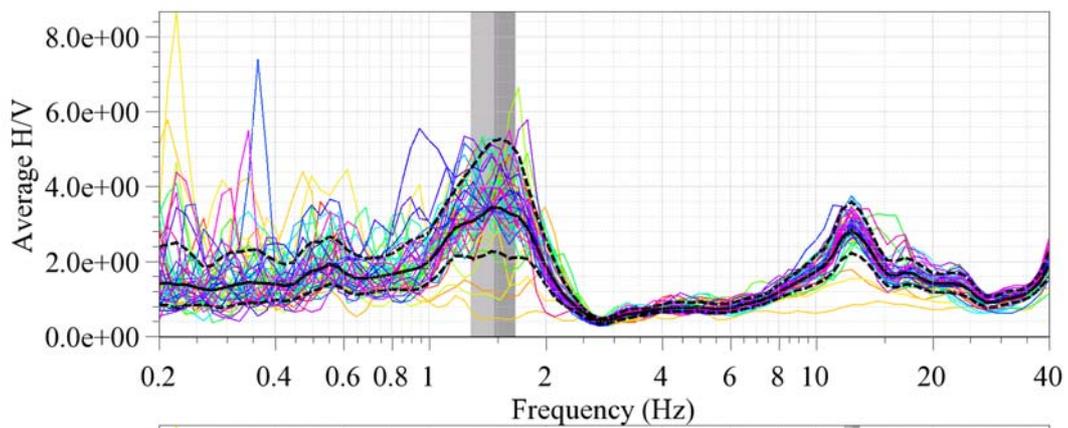


Abbildung 4. Resultat der H/V Polarisationsanalyse der Stationen im Array bei Dornach.

Inversion mit Einstationsmethode

Nicht ausgeführt.

Arraymessung

Die Dispersionskurven wurden durch die Maxima im Frequenz-Wellenzahl-Spektrum definiert; die Phasengeschwindigkeit nimmt allerdings nicht stetig mit zunehmender Frequenz zu, sondern weist leichte Schwankungen auf. Die Resultate der drei Konfigurationen wurden zu einer kombinierten Dispersionskurve zusammengefügt (Abbildung 5). Die Resultate der F-K Analyse für die Arraykonfigurationen sind in Appendix B gegeben. Es zeigt sich, dass die Dispersionskurve nur bis ca. 2 Hz zuverlässig bestimmt werden kann. Die Unregelmässigkeiten der Kurve im Bereich zwischen 7.5 und 10 Hz könnten durch einen Modensprung von der Fundamentalmode zur ersten höheren Mode entstanden sein (kann aber nicht durch die FK-Analyse bestätigt werden). Solche Sprünge sind in Strukturen mit zwei grösseren S-Wellenkontrasten möglich. Wenn die gemessene Dispersionskurve alleine invertiert wird, ergibt sich als Lösung das Modell in Abbildung 6. Hervorzuheben ist hier die scheinbar niedrigere S-Wellen Geschwindigkeit im Bereich von 4-8 Hz. Sie ist entweder auf einen Modensprung zurückzuführen (siehe unten) oder weist auf eine abnehmende S-Wellen Geschwindigkeit in 50-100m Tiefe hin (stark verwitterte Meletta-Schichten).

Die alleinige Inversion der Dispersionskurve erlaubt keine Bestimmung der Mächtigkeit der Lockersedimente. Dies wird durch eine kombinierte Inversion der Phasengeschwindigkeit und der H/V Kurve erreicht.

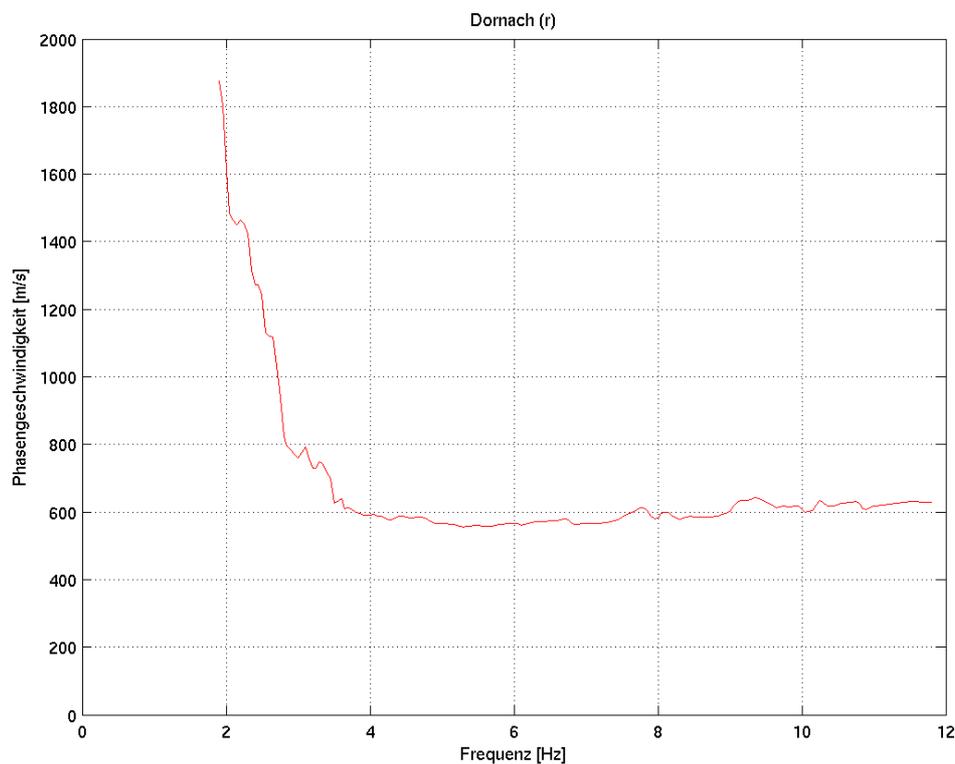


Abbildung 5. Gemessene Dispersionskurve (rote Kurve) am Standort Dornach. Es wurden hier nur die vertikalen Komponenten des Arrays analysiert.

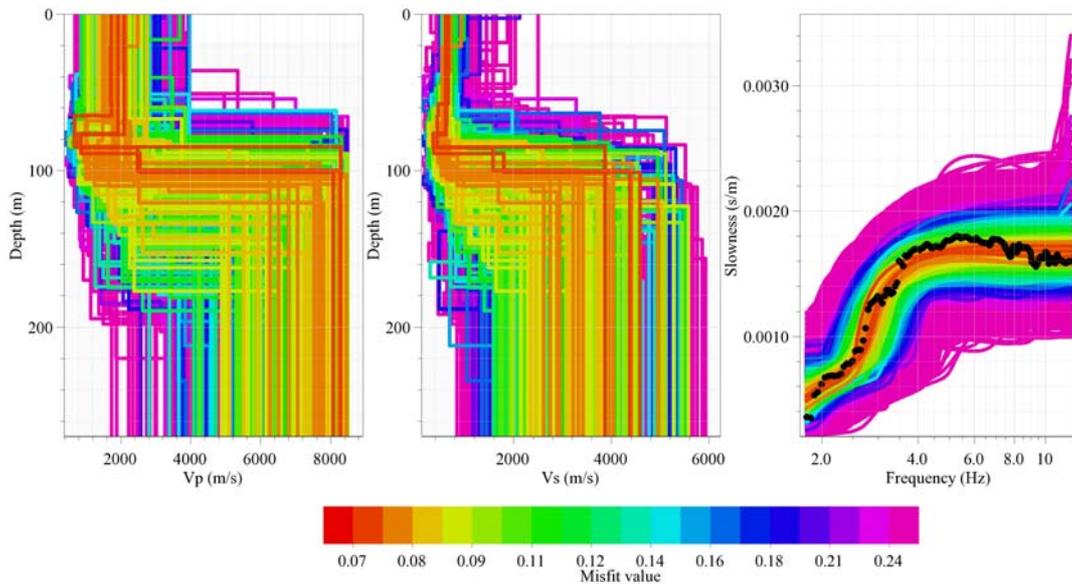


Abbildung 6. Gemessene Dispersionskurven und daraus invertierte Modelle beim Standort Dornach. Die roten Bereiche zeigen die am besten passenden Modelle, wenn nur mit Hilfe der Dispersionskurve invertiert wird. Es wurde ein Modell mit vier Schichten angenommen. Für diese Analyse wurde die Software CAP und SESARRAY verwendet, welche innerhalb des SESAME Projekts entwickelt wurde (Ohrnberger, 2004; Wathelet, 2005).

Kombinierte Inversion mit Hilfe der Phasengeschwindigkeit und Elliptizität

Die Ergebnisse der kombinierten Inversion sind in Abbildung 7 und 8 gezeigt (Inversion nach Fäh et al., 2001, 2003). Die Inversionen erfolgten mit unterschiedlicher Gewichtung der Dispersionskurve und H/V Kurve in den verschiedenen Frequenzbereichen. Die Anpassungen an die gemessenen Kurven sind in Abbildung 7 gezeigt. Dabei werden die gemessene Phasengeschwindigkeit und die Flanken der H/V Kurve verwendet. Modelle werden gesucht, unter folgenden Bedingungen:

- a) Grüne Kurven: Berücksichtigung der gemessenen Phasengeschwindigkeit; Berücksichtigung der Flanken der H/V Kurve und deren Unsicherheit.
- b) Blaue/Gelbe Kurven: Berücksichtigung der gemessenen Phasengeschwindigkeit; Berücksichtigung der Flanken der H/V Kurve und deren Unsicherheit; Annahme eines Modensprungs in der Dispersionskurve von der Fundamentalmode (blau) zur ersten höheren Mode (gelb).

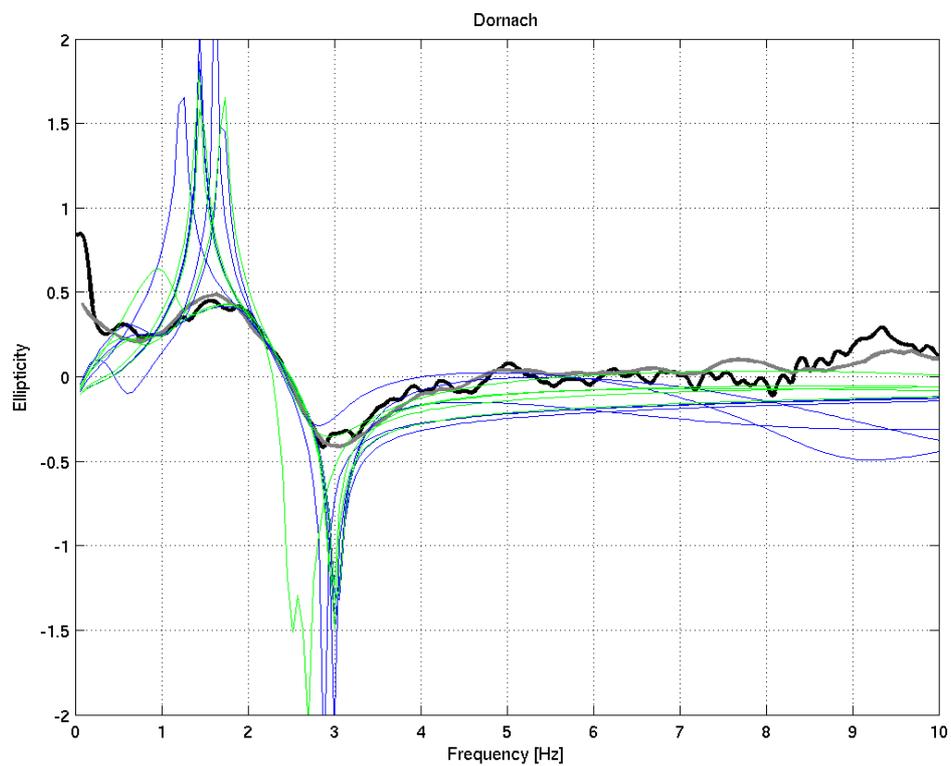
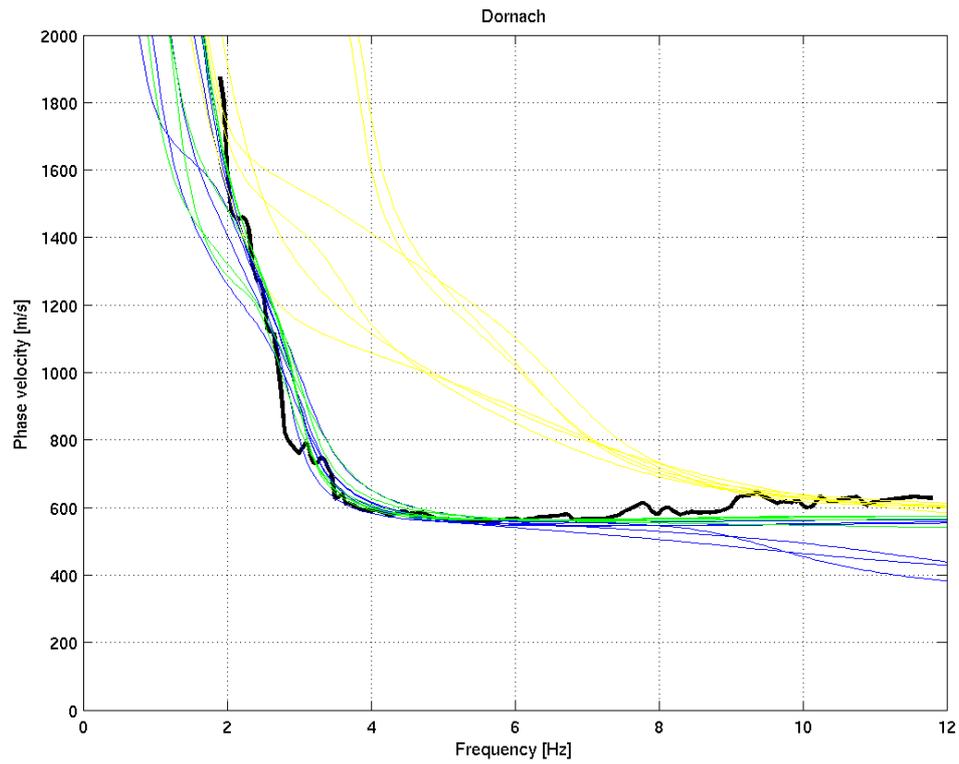


Abbildung 7. Anpassung der Phasengeschwindigkeit (oben) an die gemessenen Werte und der Elliptizität (unten) der Rayleighwellen an das H/V Spektrum am Standort Dornach.

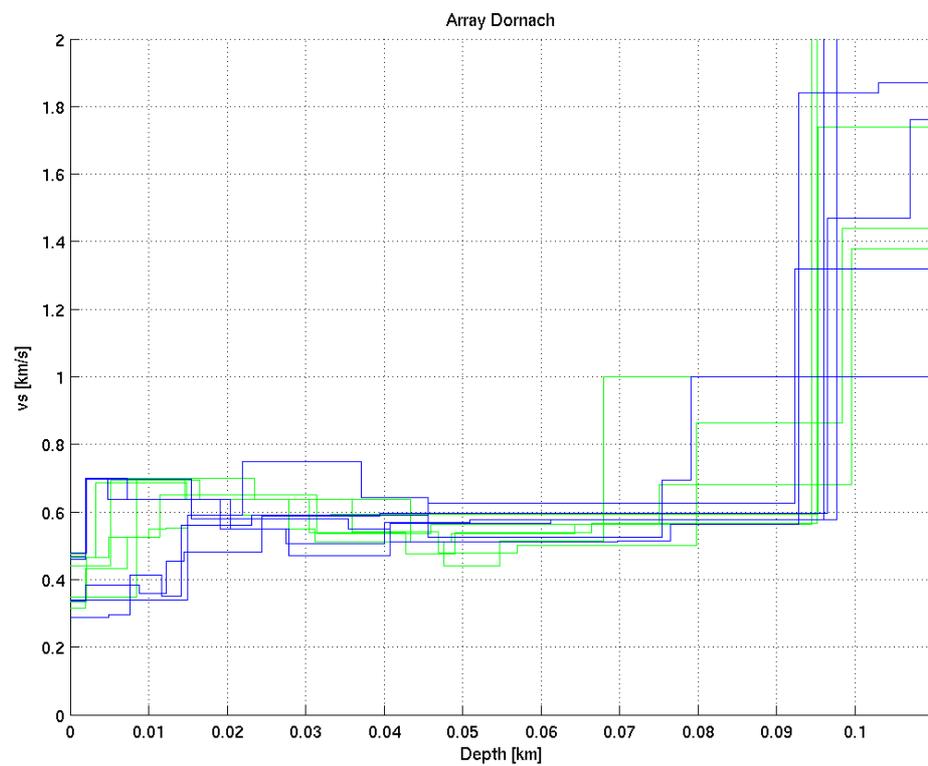
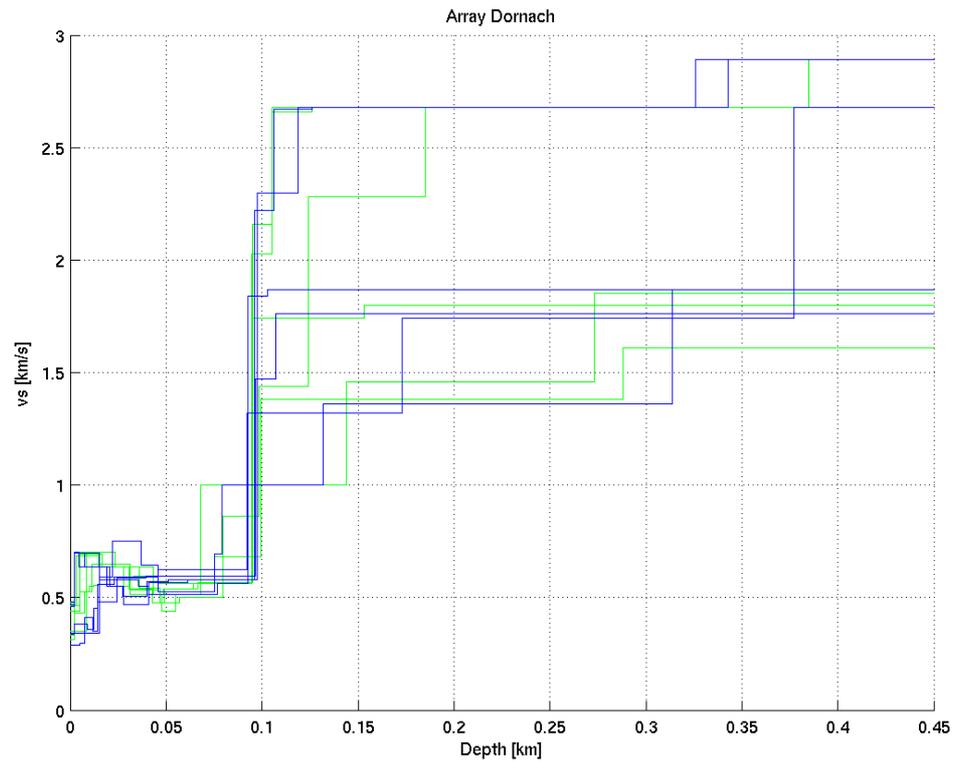


Abbildung 8. Invertierte S-Wellenprofile. Die blauen Strukturen entsprechen den bevorzugten Modellen.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Inversion gezeigt. Die bevorzugten Modelle sind in blauer Farbe gegeben. Sie wurden unter der Annahme eines Modensprungs in der Dispersionskurve erhalten. An der Oberfläche ist eine Schicht (Deckschicht + Bergsturzmaterial), welche mit den Messungen nicht gut aufgelöst werden kann. Wir erwarten eher tiefe S-Wellengeschwindigkeiten. Unter dieser Annahme liegen die S-Wellengeschwindigkeiten für die ersten 15m bei ca. 300-400m/s. Darunter liegt Bergsturzmaterial mit ca. 15-20m Mächtigkeit und S-Wellengeschwindigkeiten im Bereich 500-600m/s. Melettaschichten folgen bis in eine Tiefe von ca 90-100m (Mächtigkeit 60-70m). Diese Schichten weisen S-Wellengeschwindigkeiten von 500-650m/s auf. Der geophysikalische Fels wird in einer Tiefe von 90-100m erreicht. Da die H/V Kurve eine grosse Polarisierung zeigt, wird ein starker Geschwindigkeitskontrast zwischen geophysikalischem Fels und Lockersedimenten erwartet. Drei der gefundenen Strukturen sind im Appendix C gegeben (blaue Kurven in Abbildung 8).

Andere Messungen am Standort oder in ähnlichen Strukturen

keine

Referenzen

- Bitterli-Brunner, P. et al.: Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 1067, Arlesheim, mit Erläuterungen. Schweizerische geologische Kommission, Bern, 1984.
- Fäh, D., Rüttener, E., Noack, T. and Kruspan, P., 1997. Microzonation of the city of Basel. *Journal of Seismology*, 1, 87-102.
- Fäh, D., Noack, T. und Kruspan, P., 1997. Bewertung des geologischen Untergrundes der Region Basel Stadt auf die seismische Erschütterungsfähigkeit. In: D. Mayer-Rosa et al. (Ed.), Erdbebengefährdung und Mikrozonierung in der Schweiz, VdF, Schlussbericht NFP31, 55-67.
- Fäh, D., Kind, F. and D. Giardini, 2001. A theoretical investigation of average H/V ratios. *Geophysical Journal Int.*, 145, 535- 549.
- Fäh, D., Kind, F., Giardini, D., 2003. Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site-effects. *Journal of Seismology*, 7, 449-467.
- GPI Basel, 2001. Bohrloch Otterbach II. Geologisch-Paläontologisches Institut (GPI) der Universität Basel, unveröffentlichte Daten.
- Gürler, B. et al.: Geologie der Umgebung von Basel, mit Hinweisen über die Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärme. 1987, 43pp, Bern.
- Kind, F., 2002. Development of Microzonation Methods: Application to Basle, Switzerland. PhD Thesis Nr. 14548, ETH Zuerich.
- Kind, F., Fäh, D., Giardini, D., 2004. Array measurements of S-wave velocities from ambient vibrations. *Geophysical Journal Int.*, 160, 114-126.

- Noack, T., Kruspan, T., Fäh, D. and Rüttener, E., 1997. Seismic microzonation of the city of Basel (Switzerland) based on geological and geotechnical data and numerical simulations. *Ecloga Geol. Helv.*, 90, 433-448.
- Ohrnberger M., 2004. User manual for software package CAP - a continuous array processing toolkit for ambient vibration array analysis. SESAME report D18.06, 83pp (<http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr>).
- Wathelet, M., 2005. Array recordings of ambient vibrations: surface-wave inversion. Liège University (Belgium), 177 pages.

Appendix A: Schichtverzeichnis aus Bohrlochinformationen

Schichtverzeichnis

Dornach

Koordinaten: 613240 / 258358

Höhe über Meer: 330m. ü. M.

Grundwasserstand: kein Grundwasser

----- Bohrung WP 01_2 -----

Quartär

Pleist.

0.00	2.00	Deckschicht
Silt mit mässig Ton, wenig Sand		
2.00	30.00	Bergsturzmaterial

Tertiär

Oligo.

30.00 Meletta Schichten

----- Bohrtiefe WP 01_2 -----

96.00 Top Sannoisien Streifige Mergel /
Konglomerate, Kalksteine und sandige Mergel
(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Kreide

nicht vorhanden

Jura

Malm	197.00 Top Malm
(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)	

Dogger

Lias

Trias

Keuper

Muschelk. 1531.00 Top unterer Muschelkalk

(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Bundsst.

Appendix B: F-K Analyse für die Arraykonfigurationen

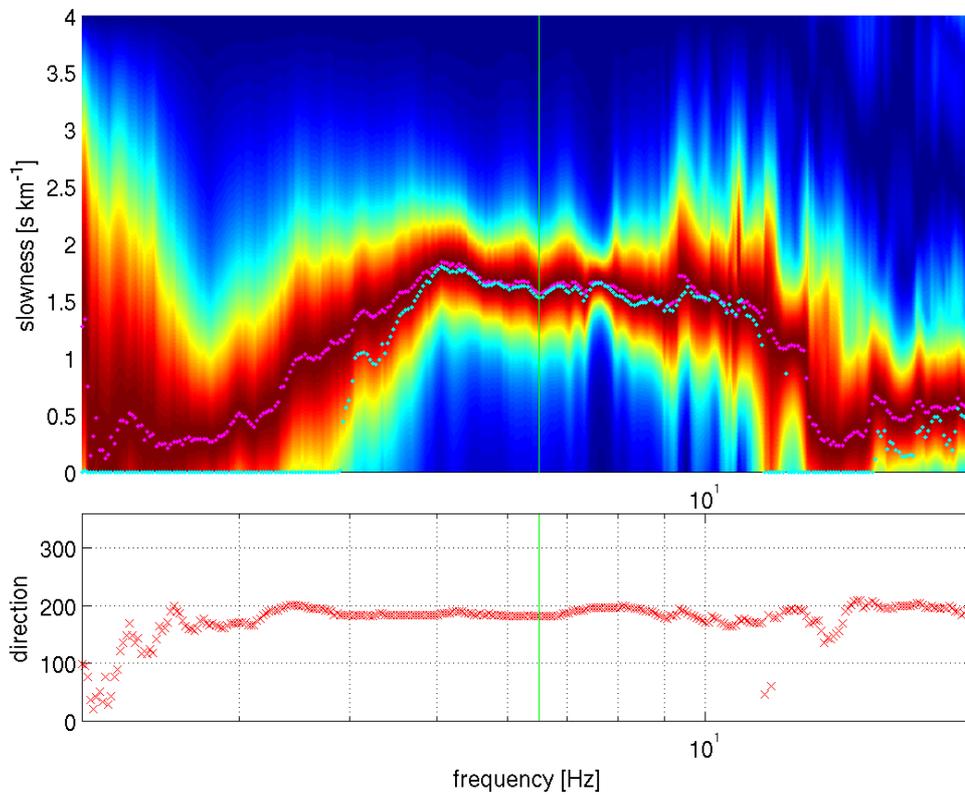
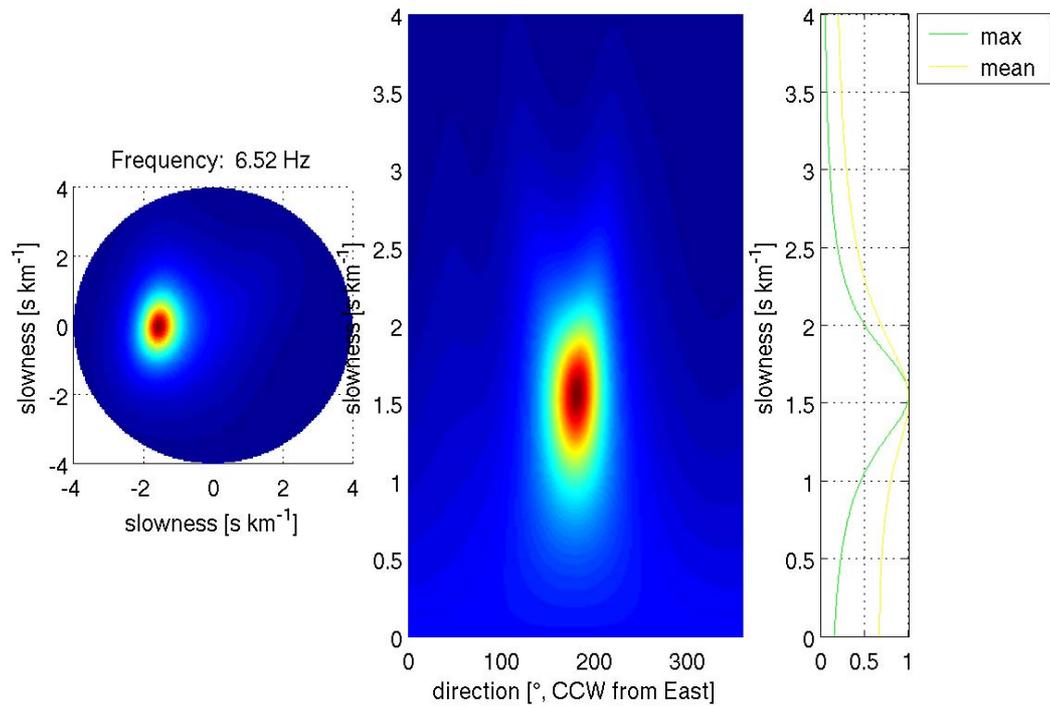


Abbildung B.1. : F-K Analyse und Dispersionskurve für die kombinierten Ringe mit 15 bis 30 m Radius.

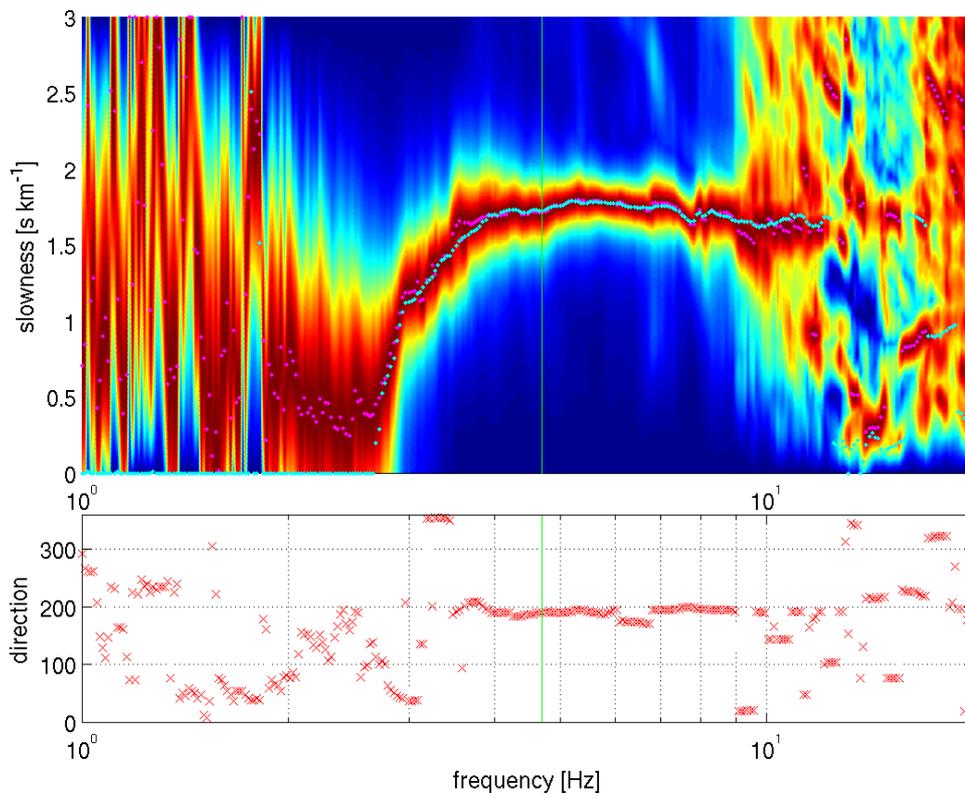
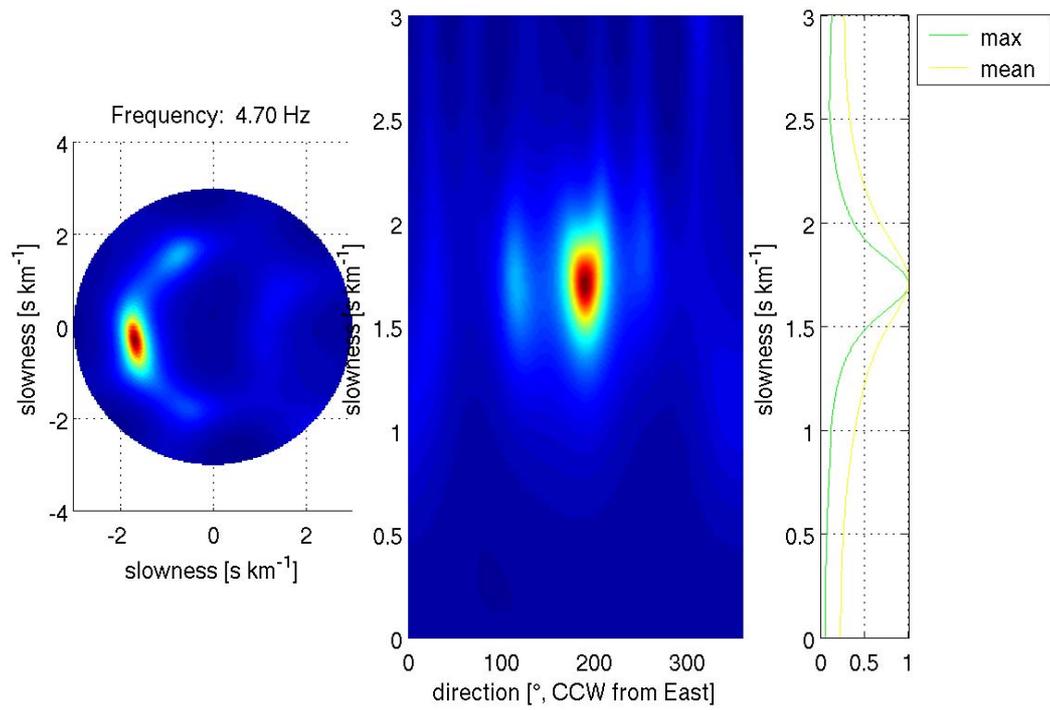


Abbildung B.2. : F-K Analyse und Dispersionskurve für die kombinierten Ringe mit 35 bis 80 m Radius.

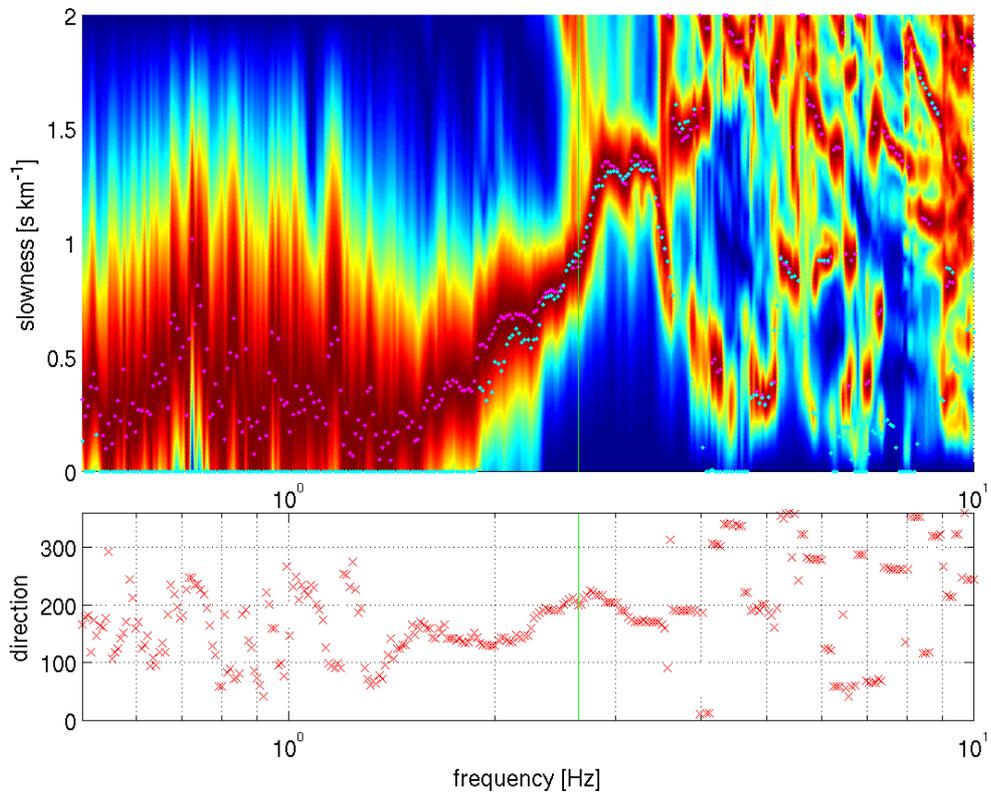
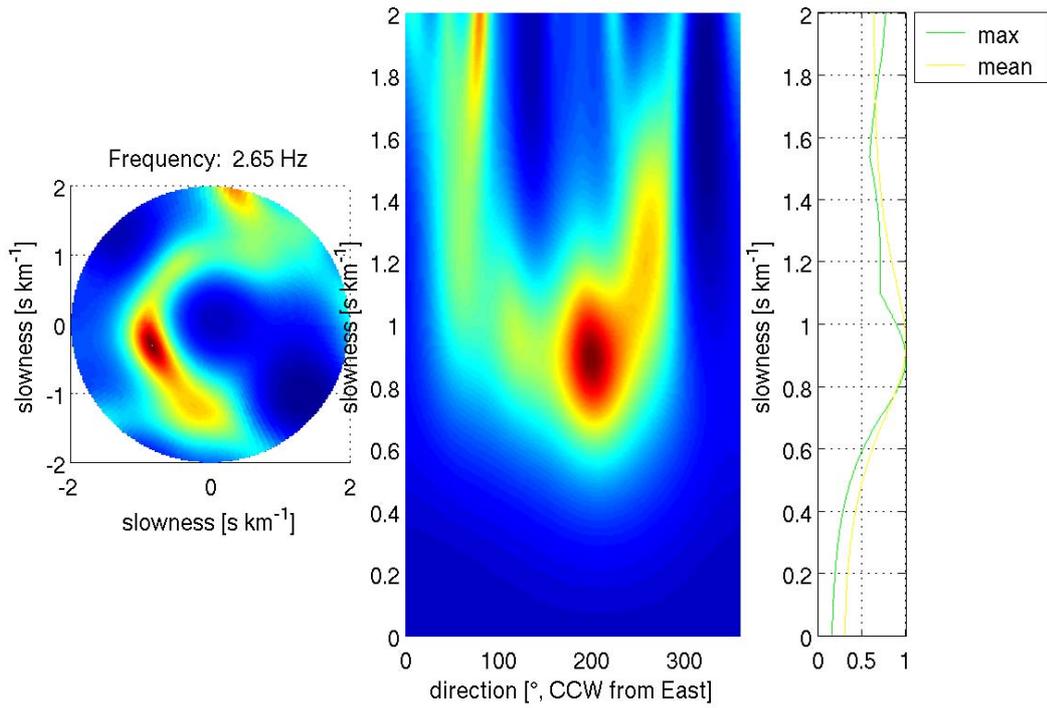


Abbildung B.3. : F-K Analyse und Dispersionskurve für den Ring mit 150 m Radius.

Appendix C: Mögliche Strukturen am Standort Dornach

Die hier gegebenen Strukturen entsprechen blauen Strukturen in Abbildung 8.

Struktur Nr.2

THICKNESS	DENSITY	P-WAVE VELOCITY	P-WAVE ATTENUATION	S-WAVE VELOCITY	S-WAVE ATTENUATION
THKNES (I)	RHO (I)	A1 (I)	A2 (I)	B1 (I)	B2 (I)
0.20012E-02	0.18000E+01	0.12461E+01	0.40126E-02	0.33834E+00	0.29556E-01
0.67549E-02	0.19000E+01	0.14170E+01	0.35286E-02	0.38424E+00	0.26025E-01
0.34107E-02	0.19000E+01	0.17956E+01	0.27847E-02	0.35798E+00	0.27934E-01
0.23703E-02	0.20000E+01	0.20815E+01	0.24021E-02	0.45395E+00	0.22029E-01
0.98821E-02	0.22000E+01	0.22832E+01	0.21899E-02	0.48064E+00	0.20806E-01
0.15013E-01	0.22000E+01	0.24920E+01	0.20064E-02	0.58948E+00	0.16964E-01
0.57065E-01	0.23000E+01	0.33326E+01	0.15003E-02	0.59577E+00	0.16785E-01
0.10157E-01	0.23000E+01	0.42550E+01	0.70505E-03	0.14705E+01	0.68004E-02
	0.23000E+01	0.44643E+01	0.67200E-03	0.17649E+01	0.56662E-02

Struktur Nr.5

THICKNESS	DENSITY	P-WAVE VELOCITY	P-WAVE ATTENUATION	S-WAVE VELOCITY	S-WAVE ATTENUATION
THKNES (I)	RHO (I)	A1 (I)	A2 (I)	B1 (I)	B2 (I)
0.49264E-02	0.18000E+01	0.93944E+00	0.53223E-02	0.28730E+00	0.34807E-01
0.27538E-02	0.19000E+01	0.16698E+01	0.29944E-02	0.29623E+00	0.33758E-01
0.40419E-02	0.19000E+01	0.17945E+01	0.27863E-02	0.41257E+00	0.24238E-01
0.23389E-02	0.20000E+01	0.20967E+01	0.23847E-02	0.35001E+00	0.28570E-01
0.90062E-02	0.22000E+01	0.23997E+01	0.20836E-02	0.55979E+00	0.17864E-01
0.22564E-01	0.22000E+01	0.24919E+01	0.20065E-02	0.58999E+00	0.16949E-01
0.46657E-01	0.23000E+01	0.33189E+01	0.15065E-02	0.62510E+00	0.15998E-01
0.81206E-01	0.23000E+01	0.42961E+01	0.69831E-03	0.13237E+01	0.75546E-02
	0.23000E+01	0.46500E+01	0.64516E-03	0.17352E+01	0.57630E-02

Struktur Nr.6

THICKNESS	DENSITY	P-WAVE VELOCITY	P-WAVE ATTENUATION	S-WAVE VELOCITY	S-WAVE ATTENUATION
THKNES (I)	RHO (I)	A1 (I)	A2 (I)	B1 (I)	B2 (I)
0.20206E-02	0.18000E+01	0.12952E+01	0.38606E-02	0.47952E+00	0.20854E-01
0.52414E-02	0.19000E+01	0.16940E+01	0.29516E-02	0.69883E+00	0.14310E-01
0.13099E-01	0.19000E+01	0.17994E+01	0.27787E-02	0.63729E+00	0.15691E-01
0.74543E-02	0.20000E+01	0.20769E+01	0.24075E-02	0.54946E+00	0.18200E-01
0.12949E-01	0.22000E+01	0.23998E+01	0.20835E-02	0.47044E+00	0.21257E-01
0.20416E-01	0.22000E+01	0.24889E+01	0.20089E-02	0.56468E+00	0.17709E-01
0.34868E-01	0.23000E+01	0.41778E+01	0.11968E-02	0.57819E+00	0.17295E-01
0.10029E-01	0.23000E+01	0.42975E+01	0.69808E-03	0.22152E+01	0.45142E-02
	0.23000E+01	0.45682E+01	0.65671E-03	0.26724E+01	0.37420E-02