

SBAP: Bestimmung eines Wellengeschwindigkeitsprofils

Standort: Standort Starkbebenstation SBAP, Basel Stadt

Seismische Station: SM SBAP

Methode: Arraymessungen, Inversion kombiniert mit H/V

Datum: November 2004

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/SBAP

Mächtigkeit (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Kommentar / Geologie
5-10	< 1350	190-260	Aufschüttungen / Deckschicht unregelmässig/ Niederterrassenschotter
20-25	> 1350 ab 20m Tiefe	10m Gradient / ab 20m: 500-600	Niederterrassenschotter (Kies, Sand) , z.T. verkittet und mit Nagelfluhbildung, im Grundwasser. Dichte: 1850 g/cm ³
40	1600-2500	500-600	Melettaschichten (Härteklasse 1) Dichte: 2000 g/cm ³
Ca. 30	1800-2500	650-750	Melettaschichten (Härteklasse 1)
10-40	1900-2500	700-900	Melettaschichten (Härteklasse 1)
200	3400 ^B (3200-3600)	2000 ^B (1800-2000)	Geophysikalischer Fels, Sannoisien. Die lithologische Schicht innerhalb des Sannoisien ist entweder ein Kalkkonglomerat oder ein harter Kalkstein. Beide besitzen die Härteklasse 4. Dichte: 2350 g/cm ³
	4000 ^B (3600-4500)	2350 ^B (2150-2650)	Dichte: 2550 g/cm ³

Tabelle: Vorgesprochenes vereinfachtes Geschwindigkeitsmodell am Standort SBAP. Aufgrund der gemessenen Geschwindigkeiten entspricht der Standort einer Bodenklasse C oder E nach SIA261. ^B) Die Geschwindigkeiten in den tiefsten Schichten wurden mit Hilfe von Bohrlochmessungen am Standort Otterbach erhalten (GPI, 2001).

Geologie

Die obersten Schichten bestehen aus den Niederterrassenschottern des Rheins, welche hier eine Mächtigkeit zwischen 30 bis 35 Metern besitzen. Die Niederterrassenschotter weisen wechselnde Schichtungen mit unterschiedlichen Korngrößen auf. Die Schotter können sandig oder sandfrei sein, besitzen Einschaltungen von Sandlinsen und Bändern und können zu Nagelfluhbänken verkitten. Im unteren Teil, in dem die Schotter zum Fels übergehen, nimmt der Lehmanteil zu und kann z.T. die Schotter ganz ersetzen. Ebenfalls dienen Niederterrassenschotter als Grundwasserspeicher.

Unter den Schottern befinden sich die Meletta Schichten. 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.

Der Grundwasserspiegel liegt bei 246 m ü.M., in 20m Tiefe.

Referenz: Bohrkataster BS /BL

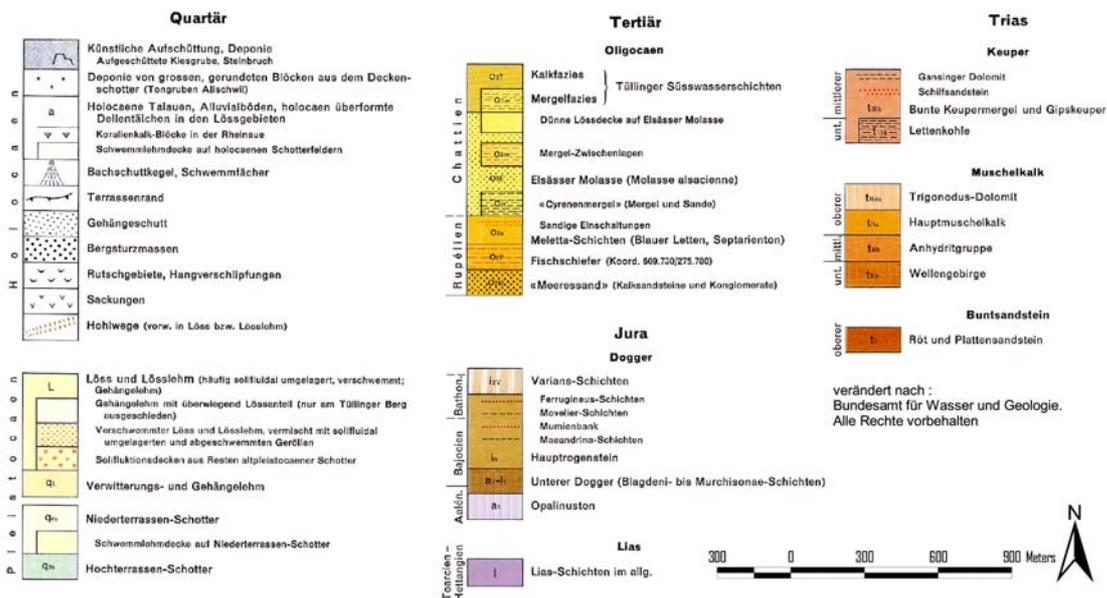
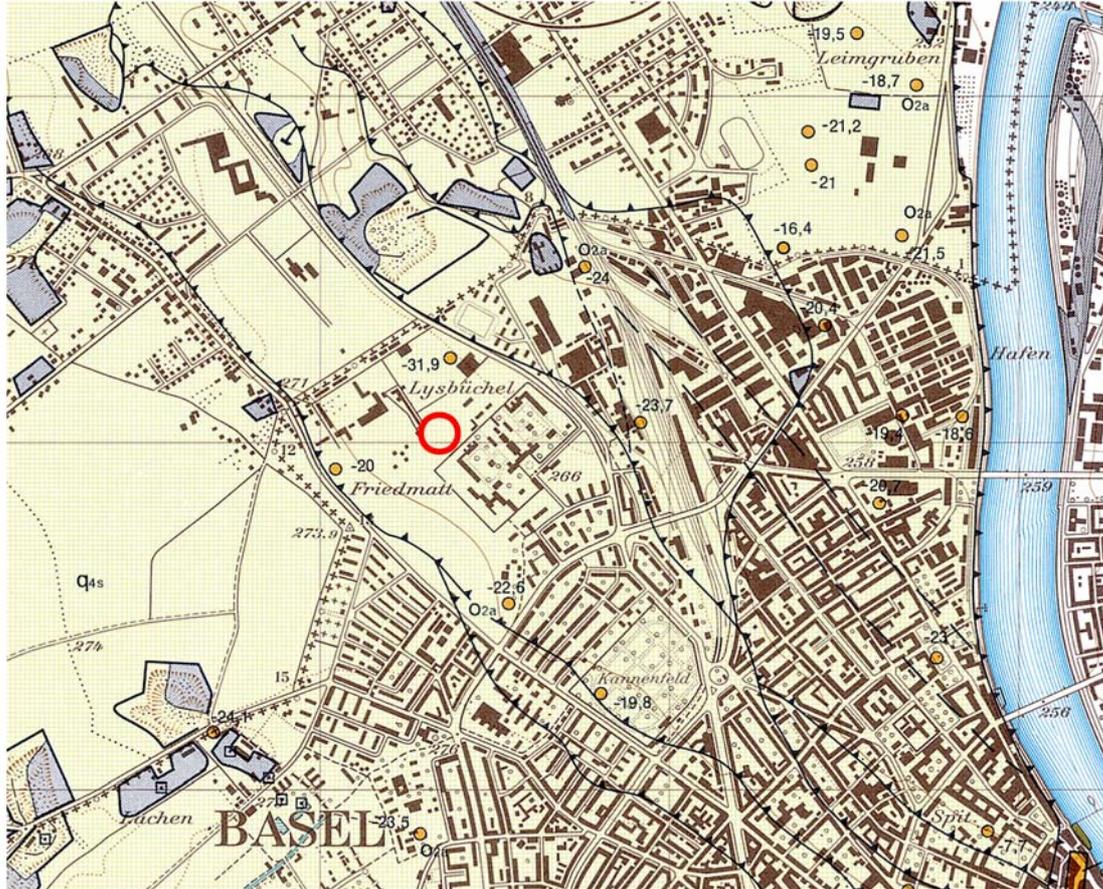


Abbildung 1. Oberflächengeologie bei der Station SBAP.

Messungen der Eigenfrequenz der Lockersediment-Ablagerungen

Abbildung 2 zeigt die Lage des Arrays bei der Station SBAP. Ein H/V Spektrum an der zentralen Station des Arrays ist in Abbildung 3 gezeigt, und ist verglichen mit dem H/V Spektrum gemessen bei der Starkbebenstation SBAP. Die Übereinstimmung der H/V Kurven bei der Fundamentalfrequenz (1.3 Hz) ist sehr gut.

Oberhalb von 7Hz sind die H/V Kurven unterschiedlich. Die im Arrayzentrum gemessene Kurve weist ein zweites Maximum bei ca. 15Hz auf. Dieses kann mit grosser Wahrscheinlichkeit auf eine wenig mächtige, sehr locker gelagerte Schicht bei SBAP zurückgeführt werden. Diese Schicht ist bei der Starkbebenstation (im Innern des Gebäudes) nicht sichtbar.

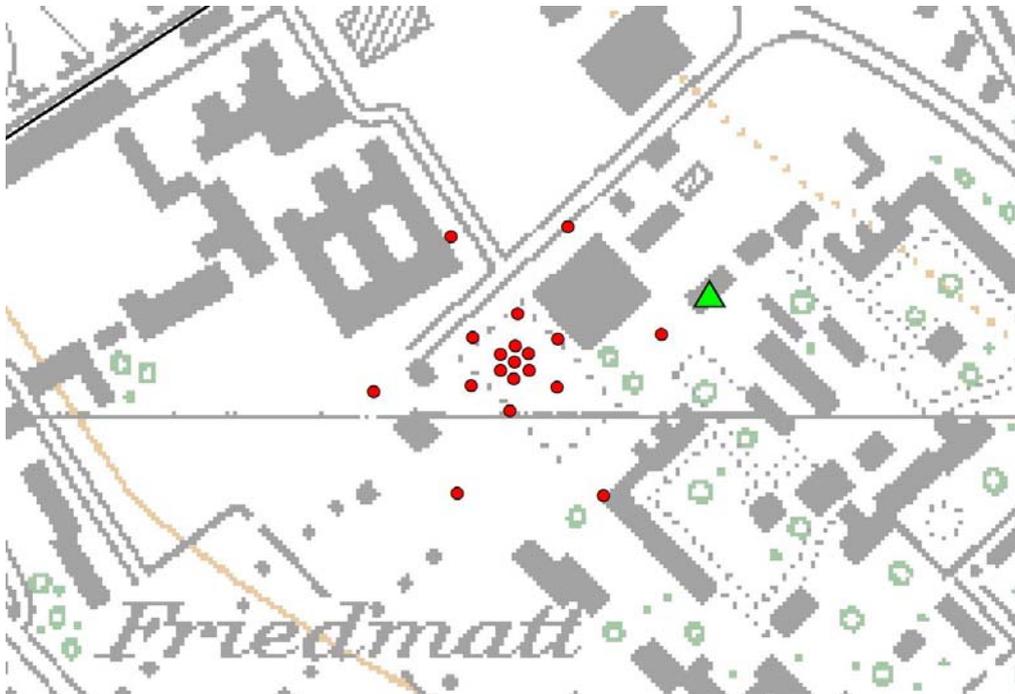


Abbildung 2. Angewandte Arraygeometrie beim Standort SBAP (rote Punkte). Radius des äusseren Rings : 90m. Das Starkbebenstation SBAP ist als grünes Dreieck gezeigt.

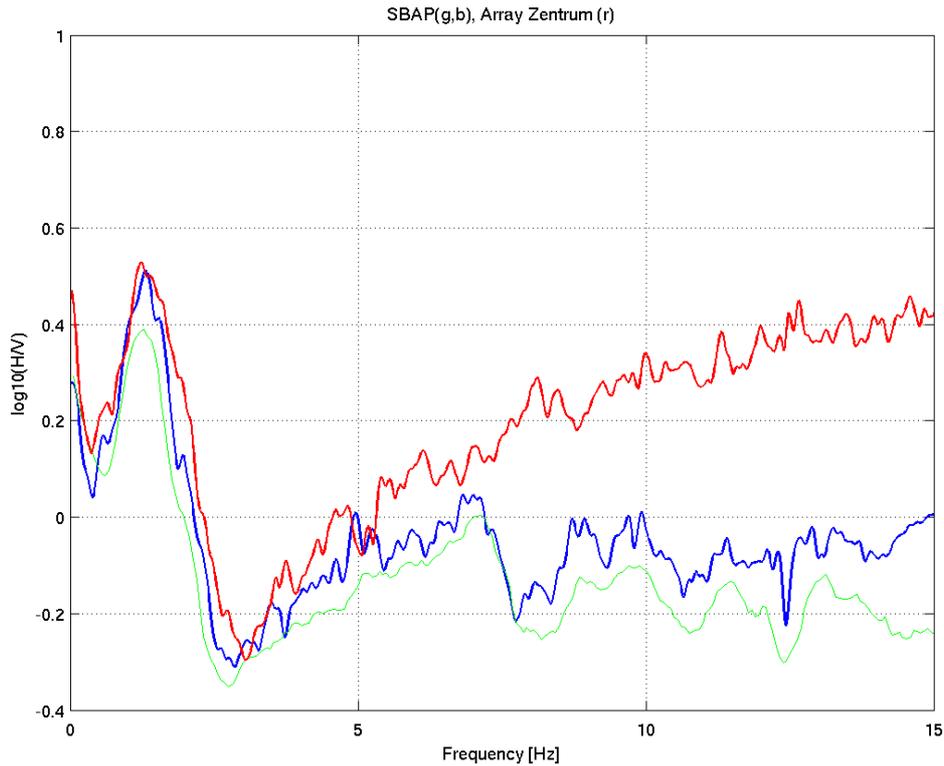
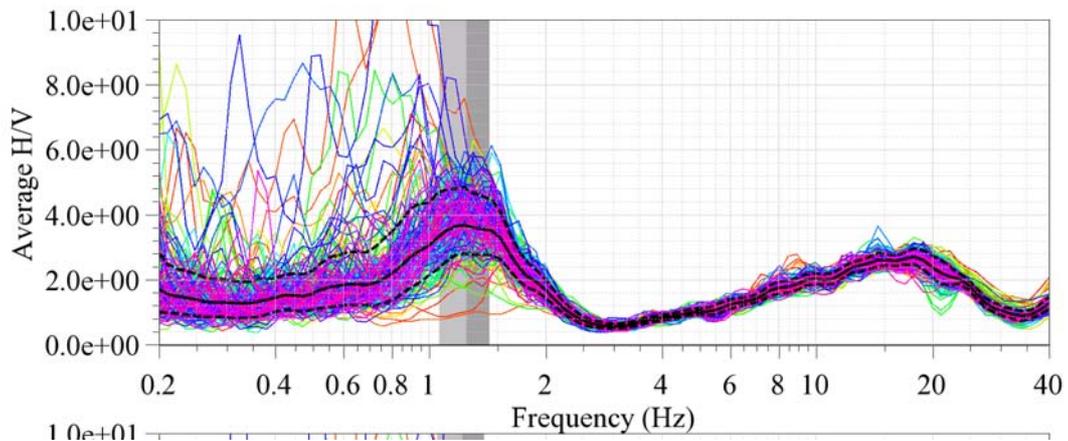


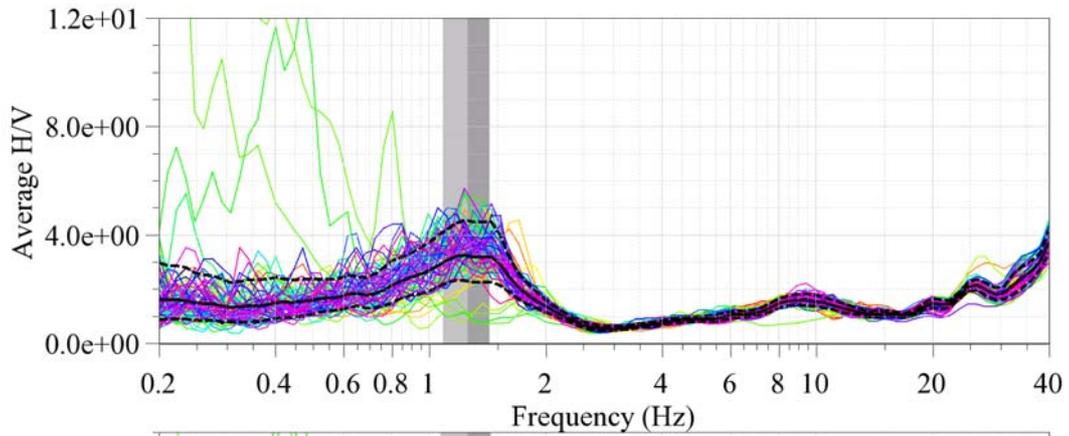
Abbildung 3. Resultat der H/V Polarisationsanalyse bei der Station SBAP (blau: klassische Methode; grün: Frequenz-Zeit Analyse), und im Arrayzentrum (rot: klassische Methode).

Diese Stabilität der H/V Kurven bei der Fundamentalfrequenz in der Umgebung der Station SBAP wird durch die H/V Analyse an verschiedenen Stationen im Array bestätigt (Abbildung 4). Die Fundamentalfrequenz liegt sehr konstant bei 1.3Hz und die Amplitude variiert ebenfalls kaum und beträgt 3-4. Sehr gut ausgebildet ist ausser dem Peak auch das nachfolgende Minimum. Das zweite H/V Maximum variiert von Station zu Station und zeigt die Variabilität der lockeren Oberflächenschicht.

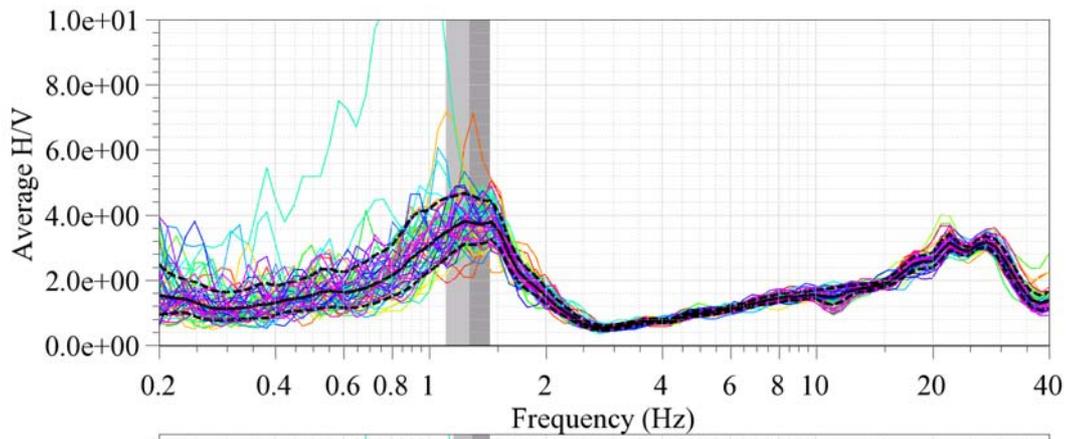
Array-Zentrum



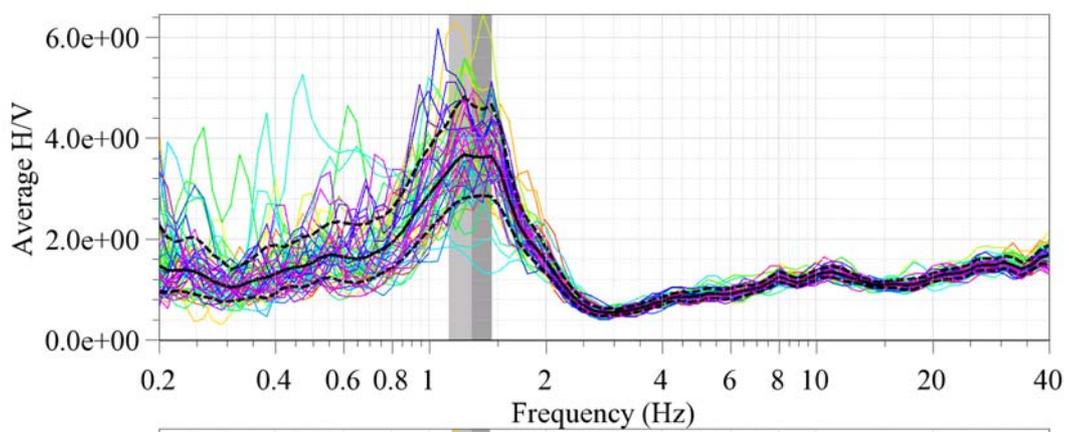
Ring3 Station Nord 15°



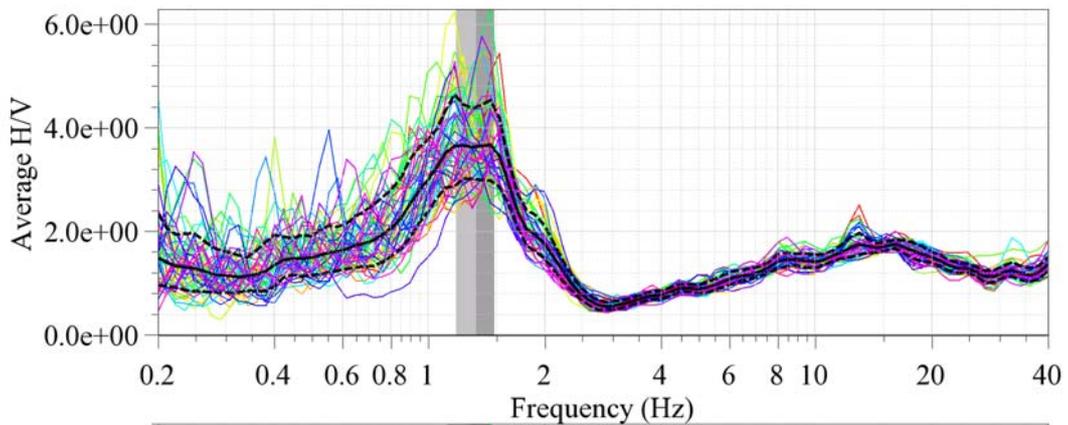
Ring3 Station North 75°



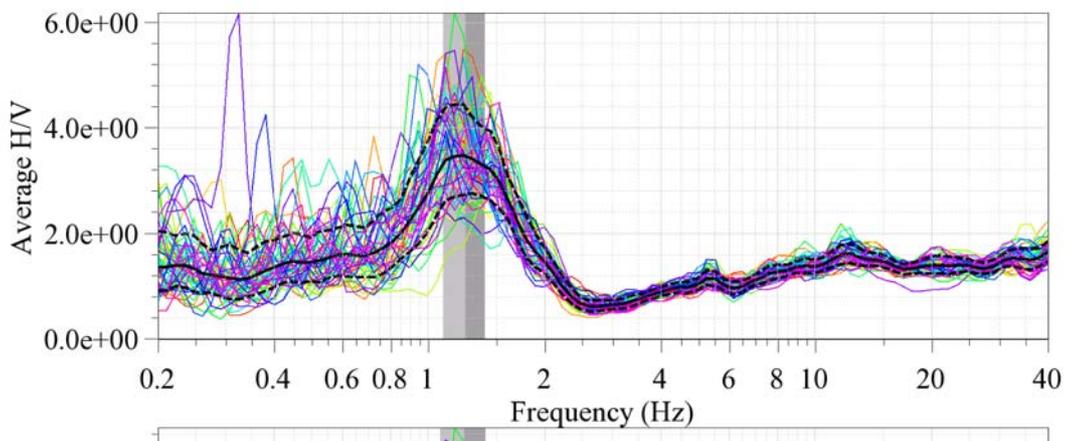
Ring3 Station Nord 135°



Ring3 Station Nord 195°



Ring3 Station Nord 255°



Ring3 Station Nord 330°

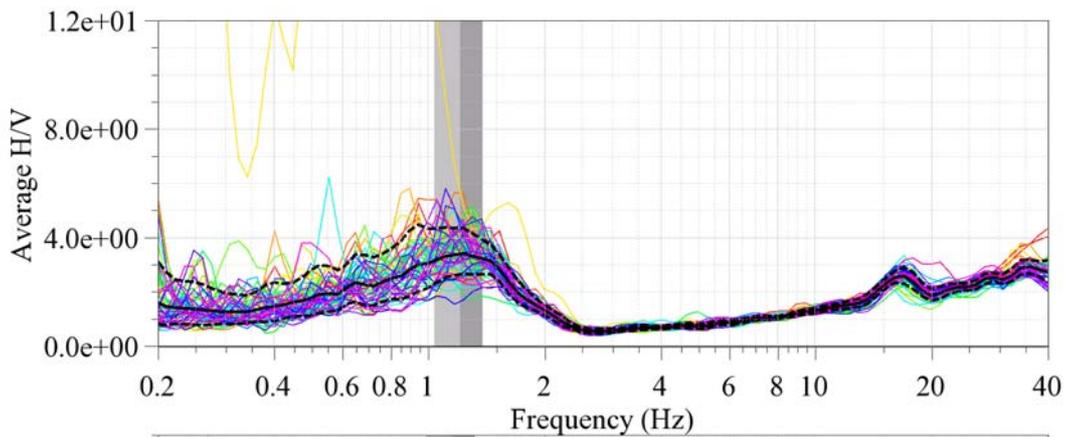


Abbildung 4. Resultat der H/V Polarisationsanalyse der Stationen im Array SBAP.

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. Die Unregelmässigkeiten der Kurve im Bereich zwischen 5.5 und 7.5 Hz könnten durch einen Modensprung von der Fundamentalmode zur ersten höheren Mode entstanden sein. 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. 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 verbessert.

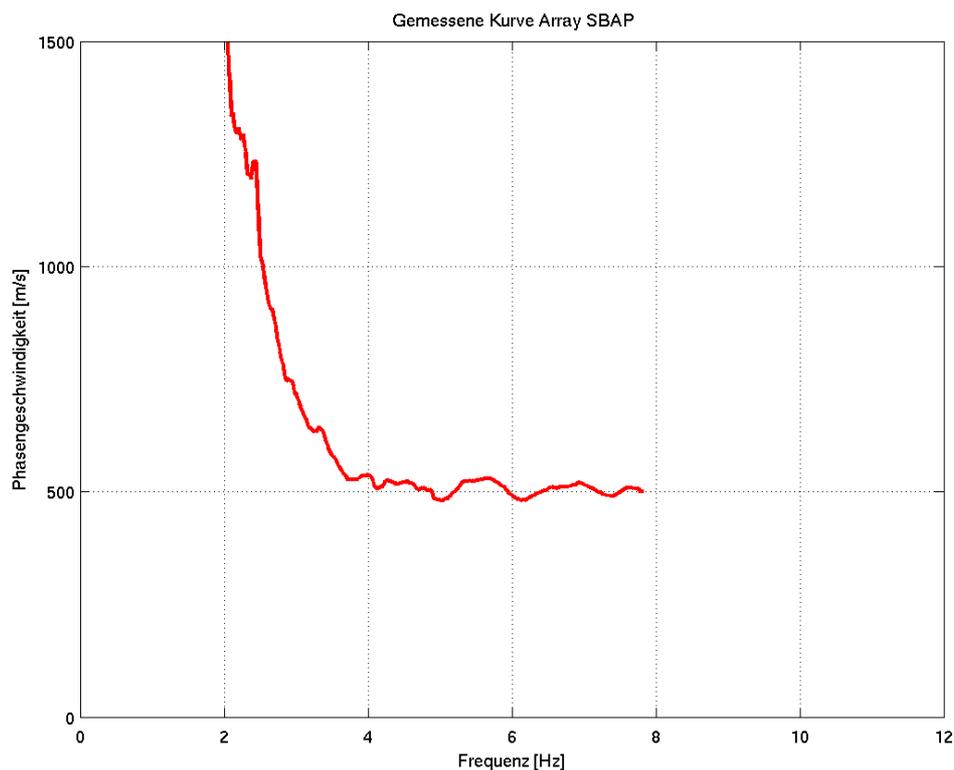


Abbildung 5. Gemessene Dispersionskurve. Es wurden hier nur die vertikalen Komponenten des Arrays analysiert.

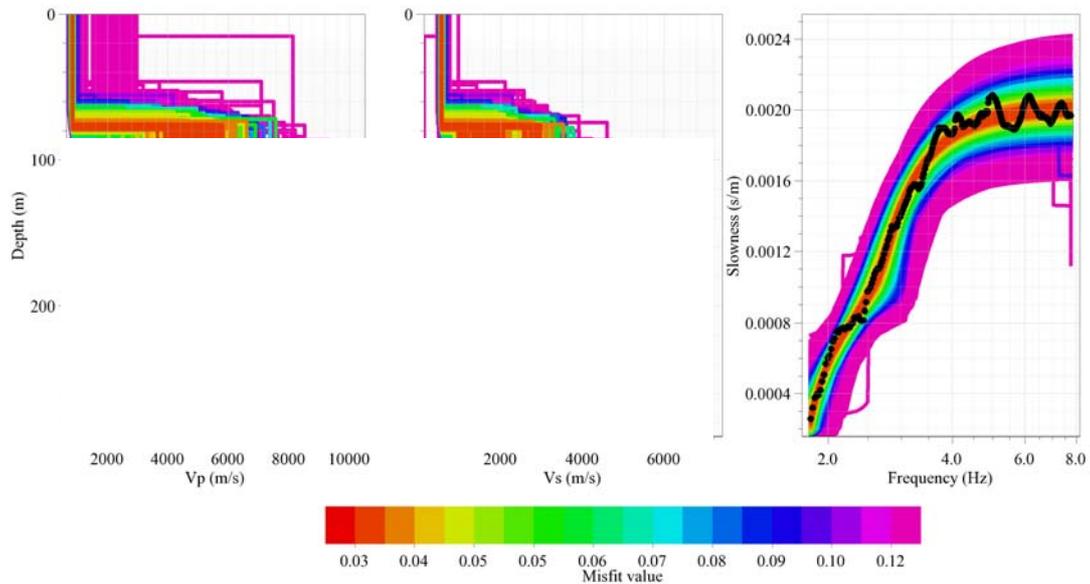


Abbildung 6. Gemessene Dispersionskurven und daraus invertierte Modelle bei Station SBAP. Die roten Bereiche zeigen die am besten passenden Modelle, wenn nur mit Hilfe der Dispersionskurve invertiert wird. Es wurde ein Modell mit vier Schichten angenommen (Zuverlässigkeit nur bis 90 m Tiefe!). Für diese Analyse wurde die Software CAP und SESARRAY verwendet, welche innerhalb des SESAME Projekts entwickelt wurde (Ohrnberger, 2004; Wathlet, 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, der H/V Kurve in den verschiedenen Frequenzbereichen und der gemessenen Fundamentalfrequenz. Die Anpassung an die gemessenen Kurven ist in Abbildung 7 gezeigt. Dabei werden folgende Strukturen unterschieden:

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

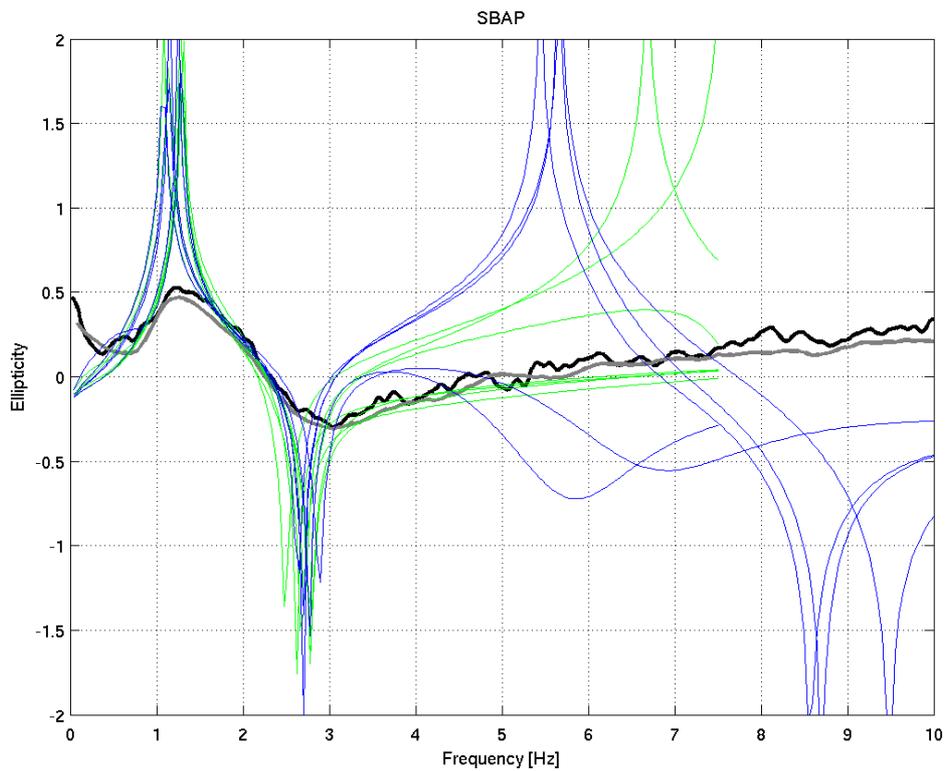
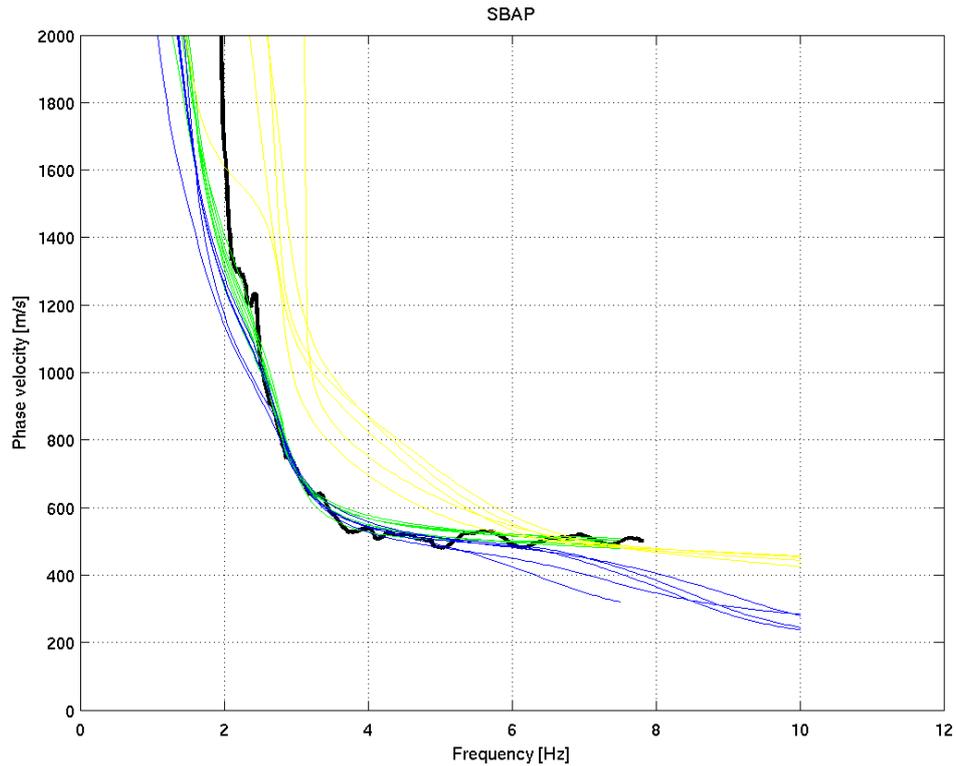


Abbildung 7. Anpassung der Phasengeschwindigkeit (oben) an die gemessenen Werte und der Elliptizität (unten) der Rayleighwellen an das H/V Spektrum am Standort SBAP. Für diese Analyse wurde ein genetischer Algorithmus verwendet (Fäh et al., 2003).

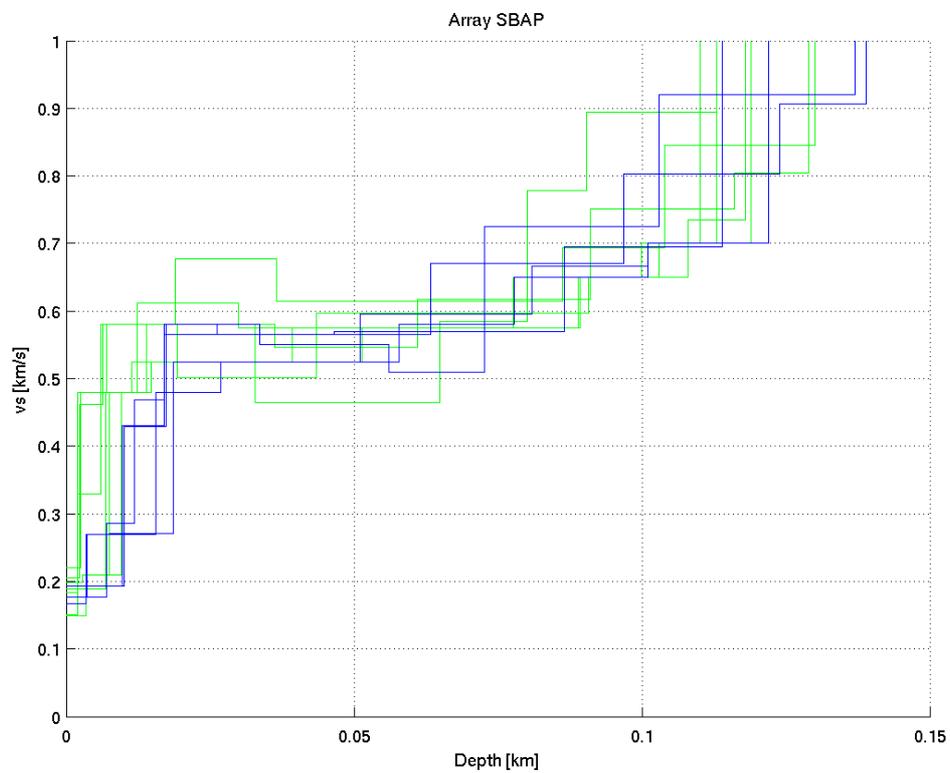
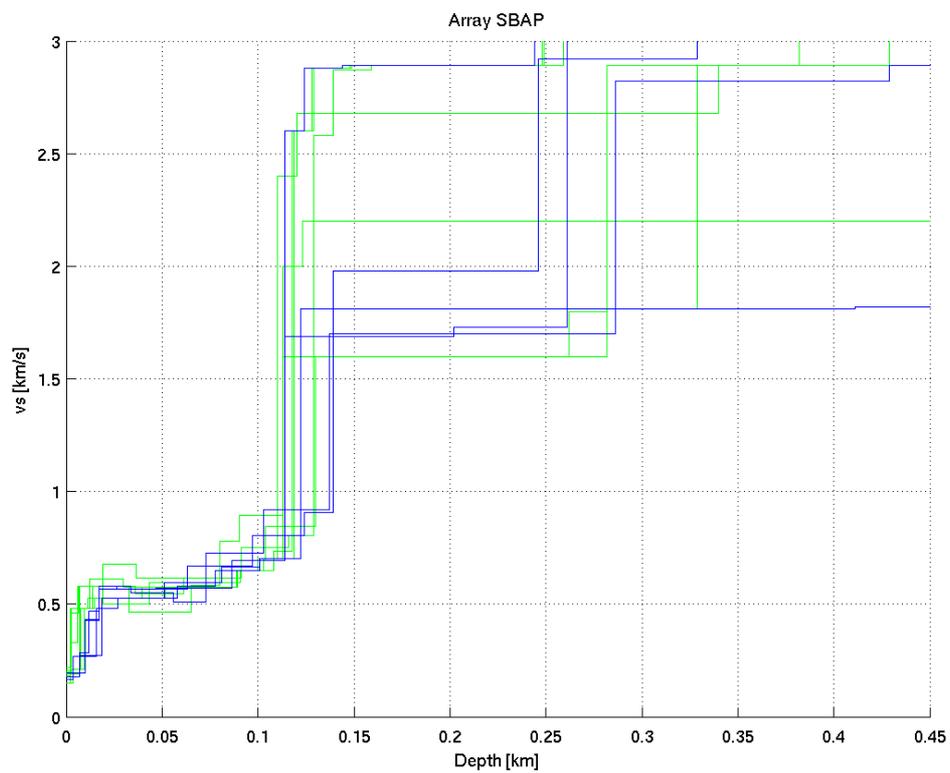


Abbildung 8. Invertierte S-Wellenprofile. Die blauen Strukturen entsprechen den bevorzugten Modellen, da ein Modensprung vermutet werden kann.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Inversion gezeigt. Die bevorzugten Modelle (blau) ergeben an der Oberfläche eine Schicht von ca. 5-10m Mächtigkeit mit einer mittleren S-Wellengeschwindigkeit von 190-260 m/s. Diese erste Schicht ist jedoch aufgrund der limitierten Phasengeschwindigkeitswerte gegen hohe Frequenzen nicht gesichert. Das zweite Maximum im H/V Spektrum deutet auf eine Oberflächenschicht mit tiefen S-Wellengeschwindigkeiten hin. Die zweite Schicht wird durch Niederterrassenschotter ausgemacht, bestehend aus Kies und Sand, welche z.T. zu Nagelfluhbänken verkittet sind. Die Mächtigkeit ist ca. 20-25m und die mittlere S-Wellengeschwindigkeit steigt mit zunehmender Tiefe. Zwischen 20 und 30m Tiefe liegt sie im Bereich 500-600m/s. Der Grundwasserspiegel liegt in ca. 20m Tiefe. Im Tiefenbereich von ca. 30 m ist der geologische Fels erreicht (Melettaschichten, Härteklasse 1). Für die ersten 40m der Melettaschicht liegt die mittlere S-Wellengeschwindigkeit im Bereich 500-600m/s. Zwischen 70m und ca. 100m Tiefe steigt der mittlere Wert von 650 bis 750m/s. In grösseren Tiefen ab ca. 100m steigt die mittlere S-Wellengeschwindigkeit auf 700-900m/s. In ca. 110-140m Tiefe wird der kompakte Fels erreicht. Die S-Wellengeschwindigkeiten können nicht mehr gut aufgelöst werden. Drei der gefundenen Strukturen sind im Appendix C gegeben (blaue Kurven in Abbildung 8).

Andere Messungen am Standort oder in ähnlichen Strukturen

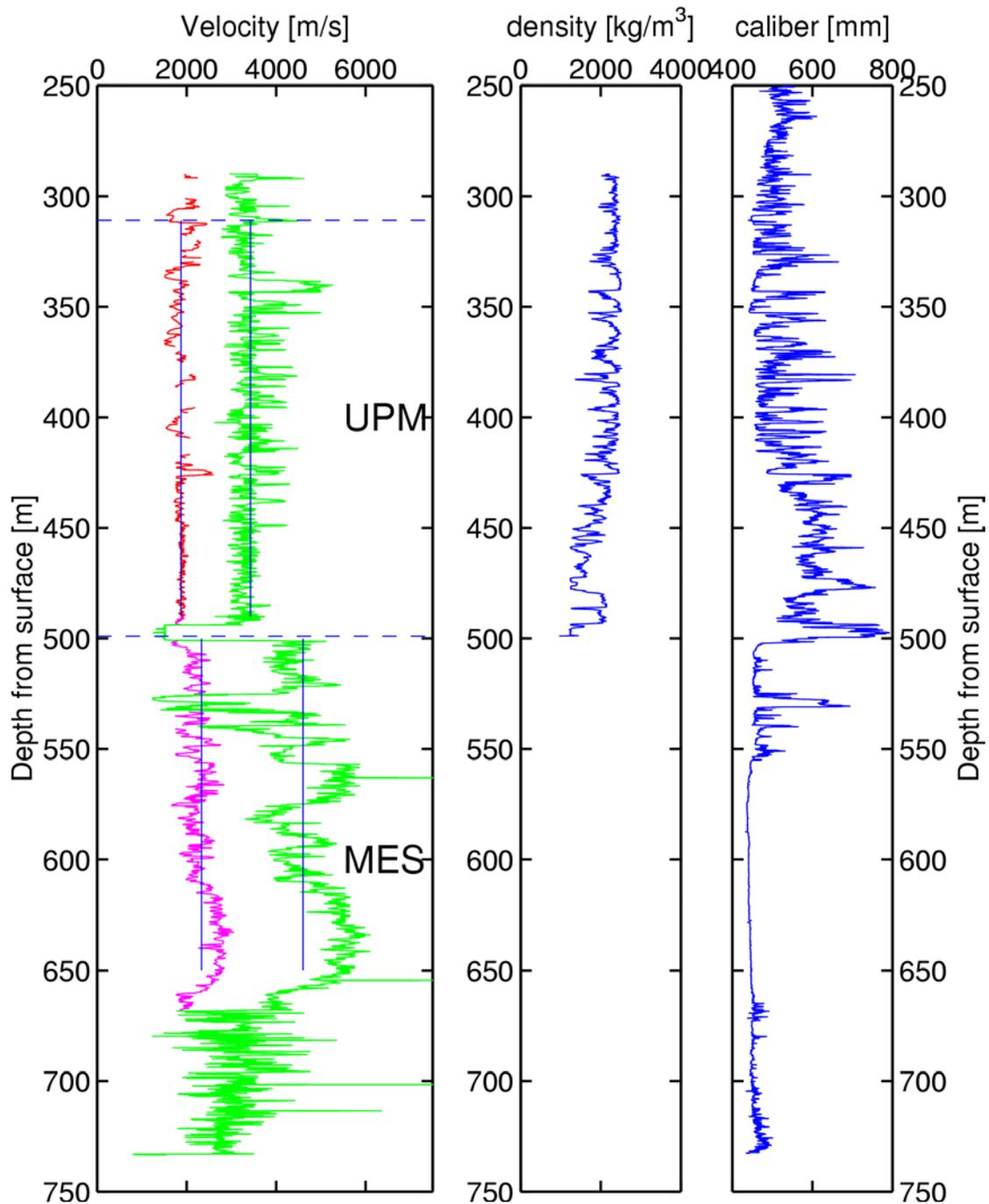


Abbildung 9. Im Bohrloch der Geothermie-Bohrung Otterbach wurden in einem Tiefenbereich zwischen 300 und 650m Sonic-Log-Messungen durchgeführt (GPI, 2001). Die gezeigten tieferen Werte sind S-Wellengeschwindigkeiten, die höheren P-Wellengeschwindigkeiten. Vertikale Linien zeigen mittlere Werte (GPI, 2001).

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

Strongmotion Station SBAP

Koordinaten: 609448 / 269072
 Höhe über Meer: 266m
 Grundwasserstand: 246m. ü. M

----- Bohrung BS-1.G.1322 -----

Quartär

Pleisto.	0.00	bis	1.00	Kiesauffüllung
	1.00	bis	1.10	Niederterrassenschotter / Kies mit reichlich Sand
	1.10	bis	3.60	Niederterrassenschotter / Kies mit wenig Sand
	3.60	bis	6.10	Niederterrassenschotter / Kies mit Steinen, Durchmesser bis 13cm
	6.10	bis	9.50	Niederterrassenschotter / Kies mit viel Sand
	9.50	bis	12.40	Niederterrassenschotter / Kies mit wenig Sand, Steine Durchmesser bis 10cm
	12.40	bis	13.50	Niederterrassenschotter / Kies mit viel Sand
	13.50	bis	15.00	Niederterrassenschotter / Kies mit Sand
	15.00	bis	18.00	Niederterrassenschotter / Kies mit Sand und Sandfelsen
	18.00	bis	22.60	Niederterrassenschotter / Kies mit viel Sand
	22.60	bis	24.20	Niederterrassenschotter / Nagelfluh, hart, mit Kies und wenig Sand
	24.20	bis	26.60	Niederterrassenschotter / Kies mit viel Sand
	26.60	bis	27.50	Niederterrassenschotter / Kies mit wenig Sand
	27.50	bis	28.20	Niederterrassenschotter / Kies mit Sand und grossen Steinen, Durchmesser 30cm
	28.20	bis	29.90	Niederterrassenschotter / Nagelfluh mit Sandfelsen
	29.90	bis	31.90	Niederterrassen / Kies mit wenig Sand und Steinen, Durchmesser bis 12cm
	31.90	bis	32.10	Meletta Schichten / Lehm gelb

32.10 bis 34.70 Meletta Schichten / Lehm blau

----- Bohrtiefe -----

Tertiär	
Oligo.	157.00: Top Sannoisien: Streifige Mergel / Konglomerate, Kalksteine und sandige Mergel (Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Kreide	fehlt

Jura	
Malm	
Dogger	
Top Lias	978.00 Wechsellagerungen von grauen, teils sandigen, spätigen, oft knolligen Kalken; z.T. schiefrige Mergel bis Tone (Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Trias	
Keuper	
Muschelk.	
Top Bundsst.	1286.00 fein- bis grobkörniger Sandstein (Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Appendix B: F-K Analyse für die Arraykonfigurationen

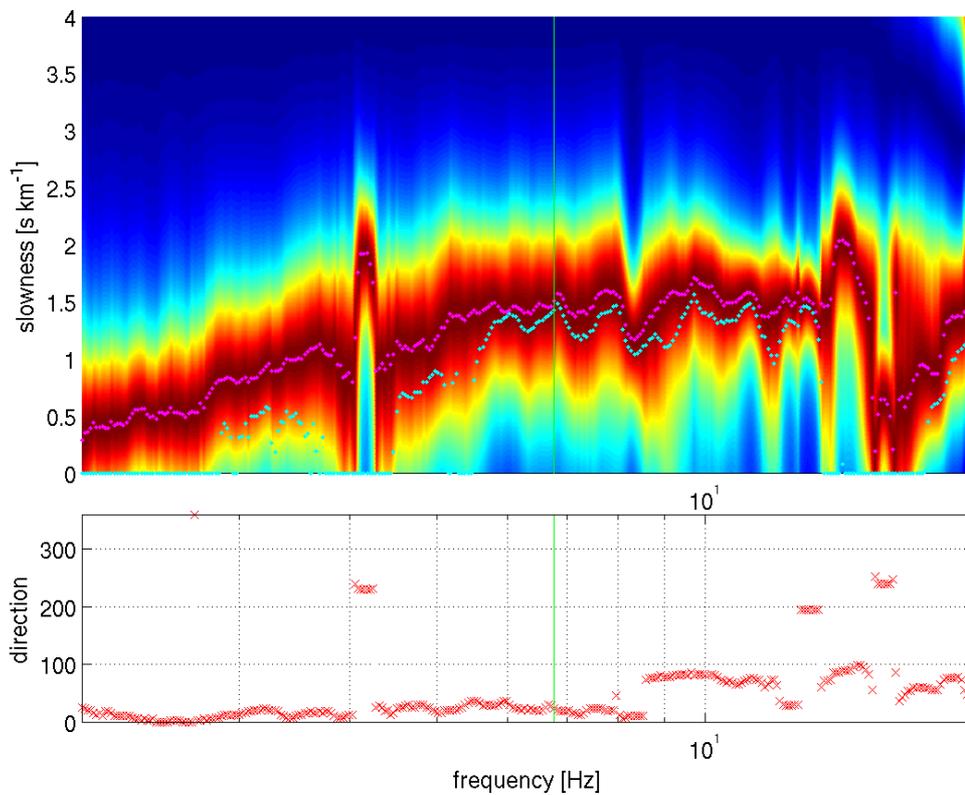
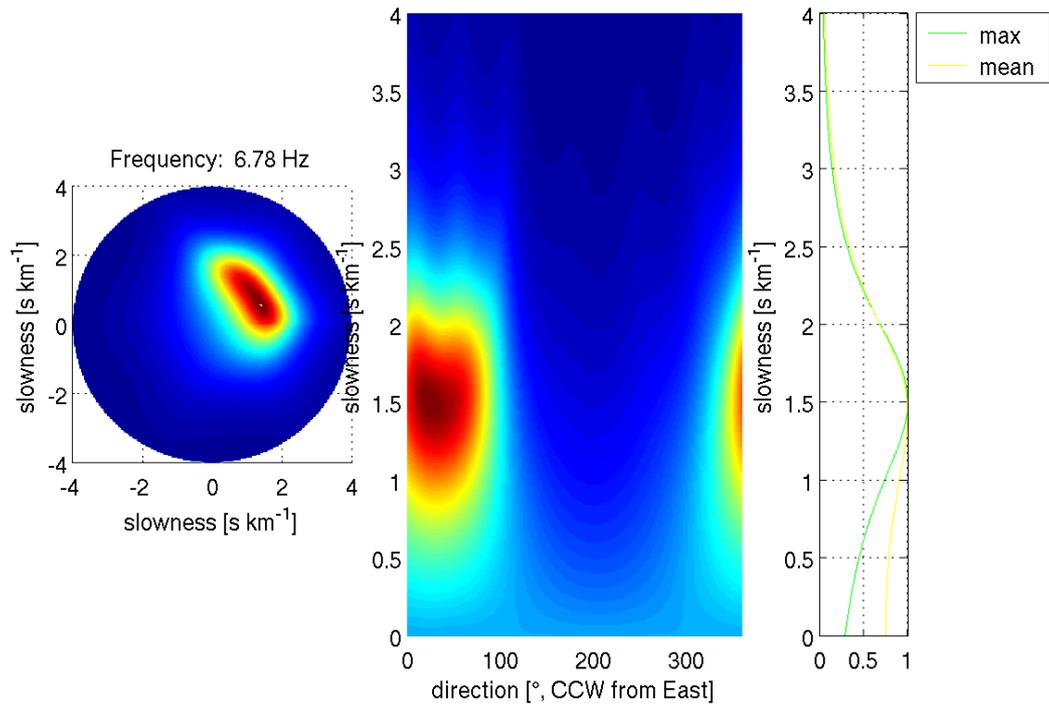


Abbildung B.1. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 10 m Radius (nicht benutzt – zu hohe S-Wellen Geschwindigkeiten : höhere Mode ?).

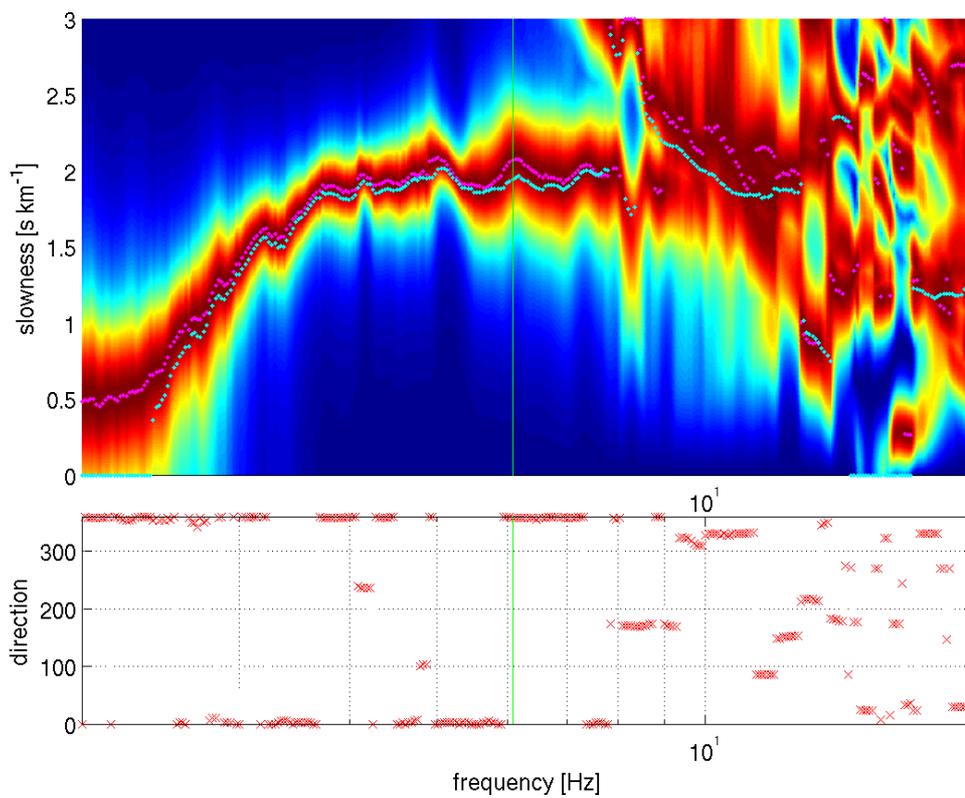
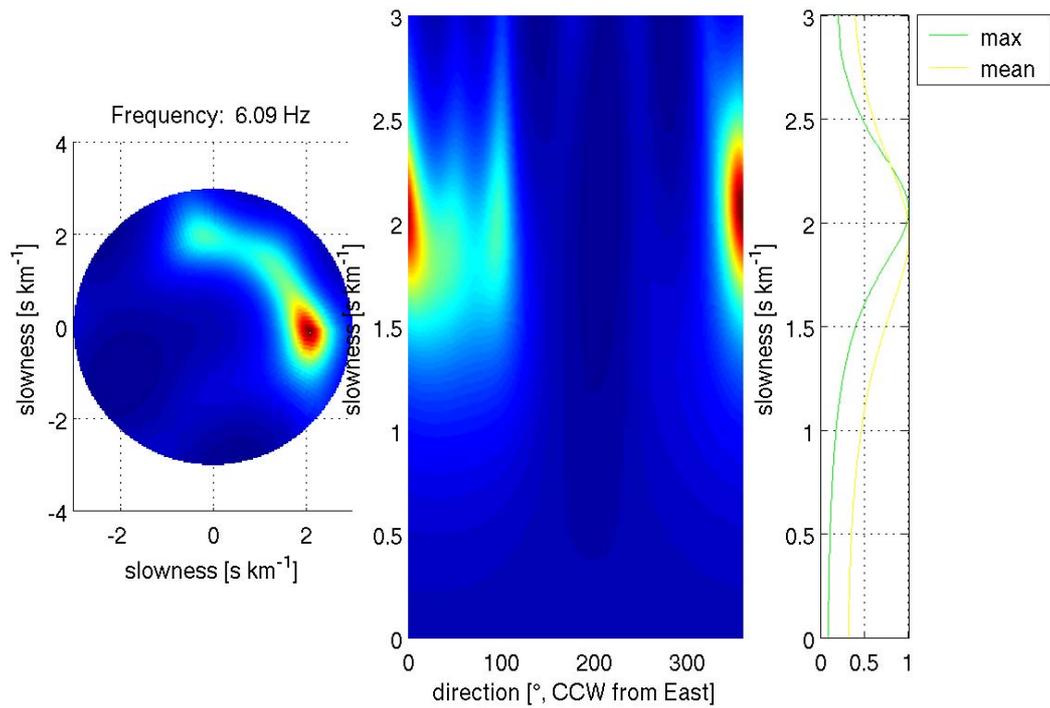


Abbildung B.2. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 30 m Radius.

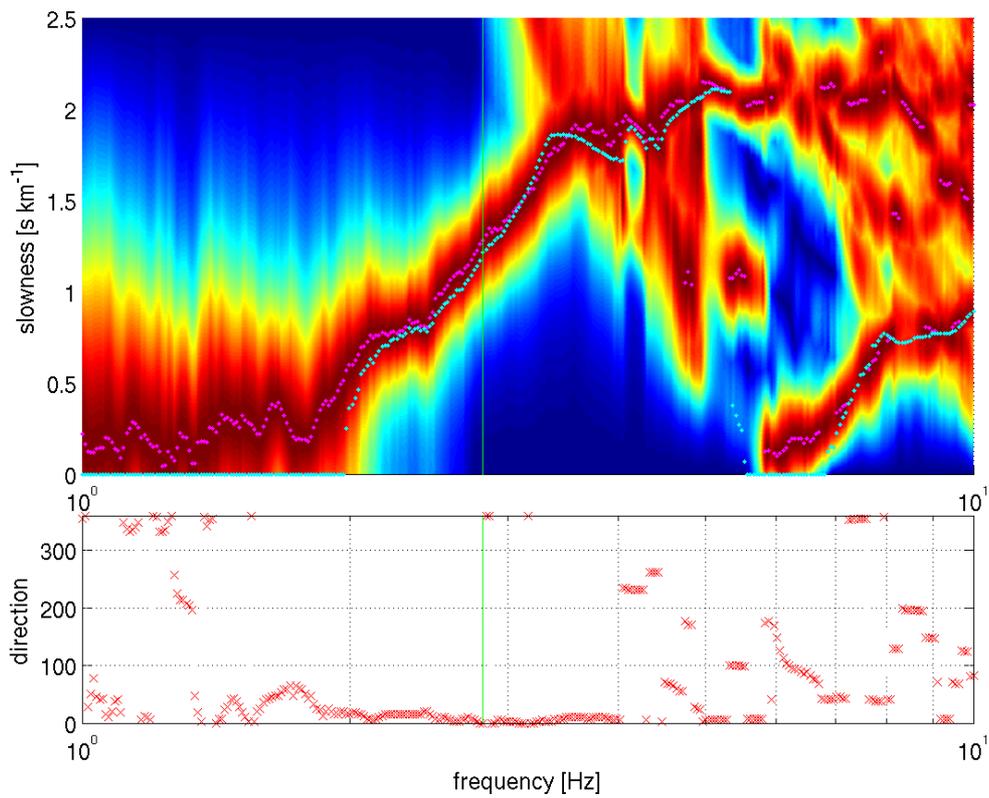
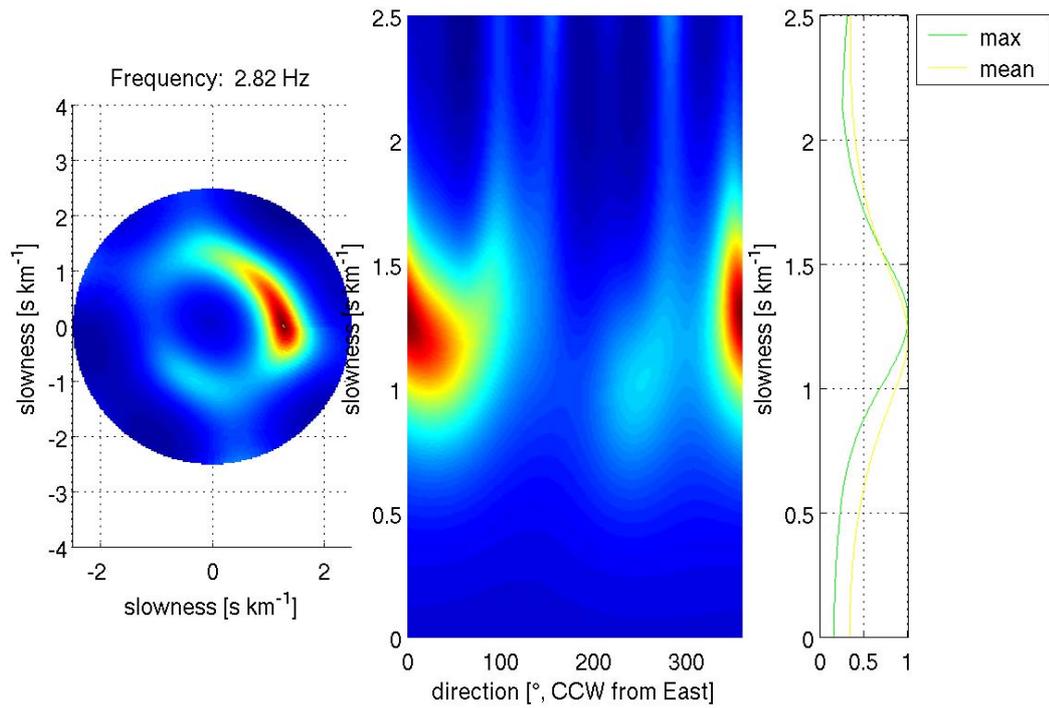


Abbildung B.3. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 90 m Radius.

Appendix C: Mögliche Strukturen am Standort SBAP

Die hier gegebenen Strukturen entsprechen blauen Strukturen in Abbildung 8.

Struktur Nr.11

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)
0.34243E-02	0.18000E+01	0.12989E+01	0.38493E-02	0.16683E+00	0.59943E-01
0.40000E-02	0.19000E+01	0.16781E+01	0.29796E-02	0.27010E+00	0.37024E-01
0.11251E-01	0.19000E+01	0.17158E+01	0.29141E-02	0.27142E+00	0.36843E-01
0.32405E-01	0.20000E+01	0.34913E+01	0.14321E-02	0.52499E+00	0.19048E-01
0.29838E-01	0.22000E+01	0.36954E+01	0.13530E-02	0.59590E+00	0.16781E-01
0.19983E-01	0.22000E+01	0.38803E+01	0.12886E-02	0.66647E+00	0.15004E-01
0.20811E-01	0.23000E+01	0.43998E+01	0.11364E-02	0.70082E+00	0.14269E-01
0.28964E+00	0.23000E+01	0.44999E+01	0.66668E-03	0.18114E+01	0.55206E-02
	0.23000E+01	0.46485E+01	0.64537E-03	0.18155E+01	0.55081E-02

Struktur Nr.14

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)
0.10107E-01	0.18000E+01	0.10749E+01	0.46518E-02	0.19267E+00	0.51903E-01
0.72779E-02	0.19000E+01	0.16488E+01	0.30325E-02	0.42915E+00	0.23302E-01
0.16232E-01	0.19000E+01	0.17440E+01	0.28669E-02	0.57994E+00	0.17243E-01
0.22433E-01	0.20000E+01	0.18038E+01	0.27719E-02	0.54999E+00	0.18182E-01
0.16528E-01	0.22000E+01	0.18246E+01	0.27403E-02	0.51011E+00	0.19604E-01
0.30617E-01	0.22000E+01	0.38787E+01	0.12891E-02	0.72546E+00	0.13784E-01
0.33674E-01	0.23000E+01	0.42059E+01	0.11888E-02	0.91960E+00	0.10874E-01
0.14963E+00	0.23000E+01	0.44975E+01	0.66704E-03	0.17003E+01	0.58814E-02
	0.23000E+01	0.46207E+01	0.64925E-03	0.28166E+01	0.35504E-02

Struktur Nr.16

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)
0.97122E-02	0.18000E+01	0.69445E+00	0.72000E-02	0.19251E+00	0.51946E-01
0.72501E-02	0.19000E+01	0.14762E+01	0.33871E-02	0.42981E+00	0.23266E-01
0.92175E-02	0.19000E+01	0.17911E+01	0.27916E-02	0.57986E+00	0.17246E-01
0.20376E-01	0.20000E+01	0.28419E+01	0.17594E-02	0.56491E+00	0.17702E-01
0.39997E-01	0.22000E+01	0.30112E+01	0.16605E-02	0.56865E+00	0.17586E-01
0.27468E-01	0.22000E+01	0.31003E+01	0.16127E-02	0.69543E+00	0.14380E-01
0.88181E-01	0.23000E+01	0.33716E+01	0.14830E-02	0.16858E+01	0.59320E-02
0.58841E-01	0.23000E+01	0.34627E+01	0.86636E-03	0.17314E+01	0.57758E-02
0.58175E-01	0.23000E+01	0.53142E+01	0.56453E-03	0.30682E+01	0.32593E-02