

SBAJ: Bestimmung eines Wellengeschwindigkeitsprofils

Standort: Standort Starkbebenstation SBAJ, Basel Stadt

Seismische Station: SM SBAJ

Methode: Arraymessungen, Inversion kombiniert mit H/V

Datum: März 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/SBAJ

Mächtigkeit (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Kommentar / Geologie
5	< 1350	190-250	Aufschüttungen / Deckschicht unregelmässig
15-20	> 1350 ab 9m Tiefe	400-500	Niederterrassenschotter (Kies, Sand), z.T. verkittet und mit Nagelfluhbildung, im Grundwasser. Dichte: 1850 g/cm ³
Ca. 20	1500-2500	500-600	Melettaschichten (Härteklasse 1) verwittert Dichte: 2000 g/cm ³
50-60	1700-2500	550-650	Melettaschichten (Härteklasse 1)
Ca. 50	1800-2500	700-900	Melettaschichten (Härteklasse 1)
50-100	1900-2500	900-1300	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: Vorgeschlagenes vereinfachtes Geschwindigkeitsmodell am Standort SBAJ. 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 Auffüllungsmaterial und aus den Niederterrassenschottern des Rheins, welche hier eine Mächtigkeit zwischen 15 bis 20 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.

Der geologische Fels wird an dieser Stelle von den Meletta Schichten gebildet. 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 245 m ü.M., in 9m Tiefe.

Referenz: Bohrkataster BS /BL

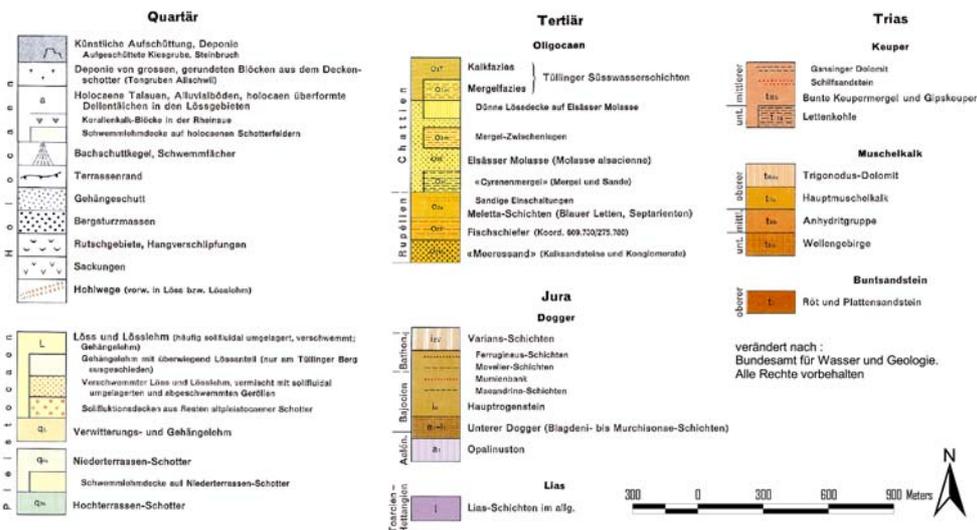
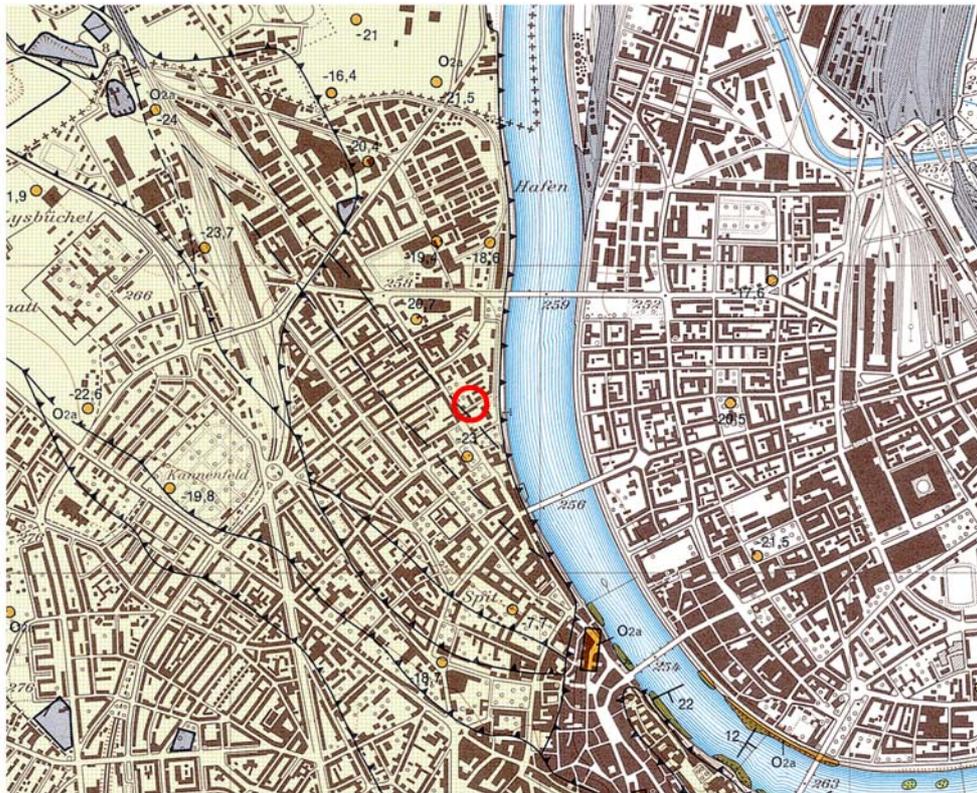


Abbildung 1. Oberflächengeologie bei der Station SBAJ.

Messungen der Eigenfrequenz der Lockersediment-Ablagerungen

Abbildung 2 zeigt die Lage des Arrays bei der Station SBAJ. 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 SBAJ. Die Übereinstimmung der H/V Kurven ist sehr gut.

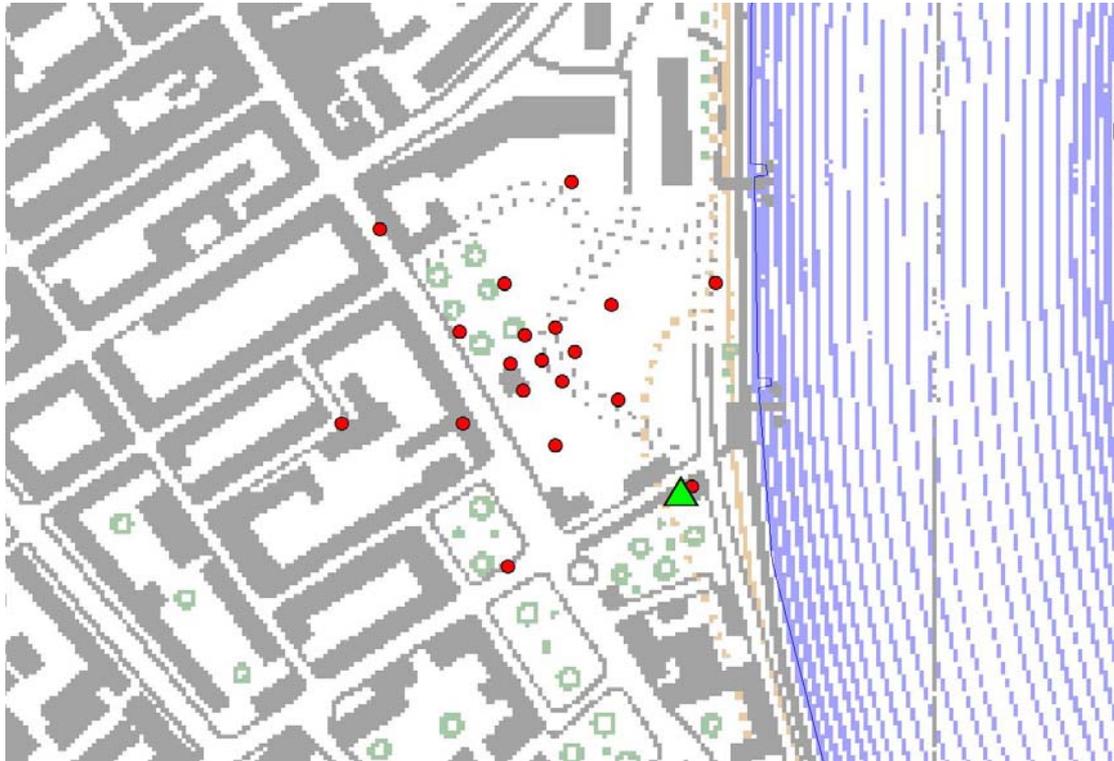


Abbildung 2. Angewandte Arraygeometrie beim Standort SBAJ (rote Punkte). Radius des äusseren Rings : 115m. Das Starkbebenstation SBAJ ist als grünes Dreieck gezeigt.

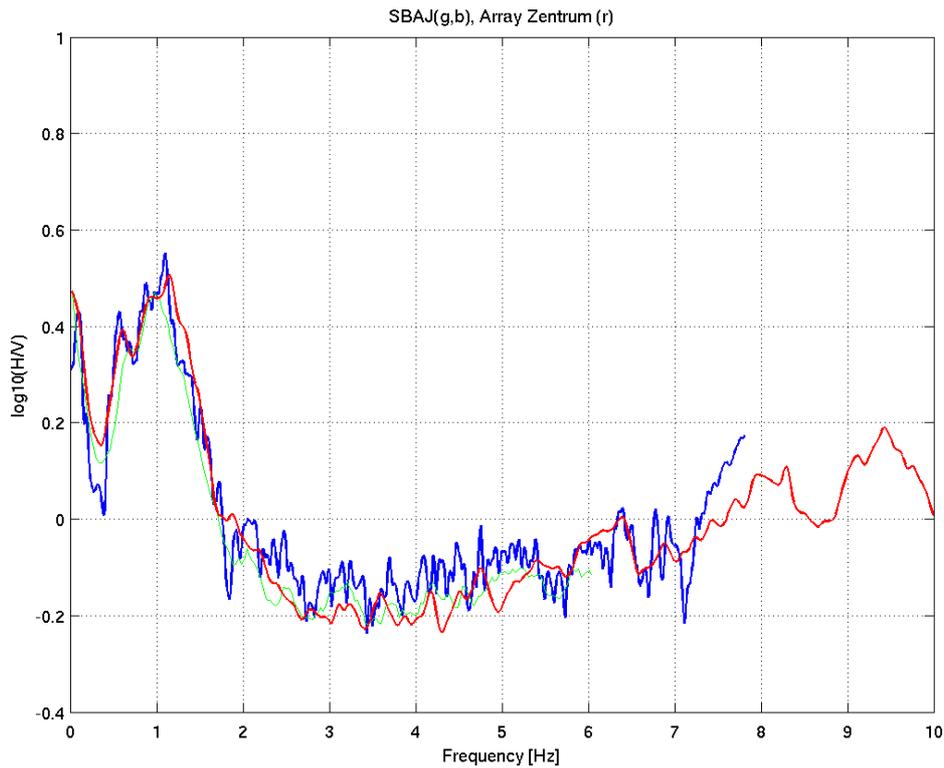
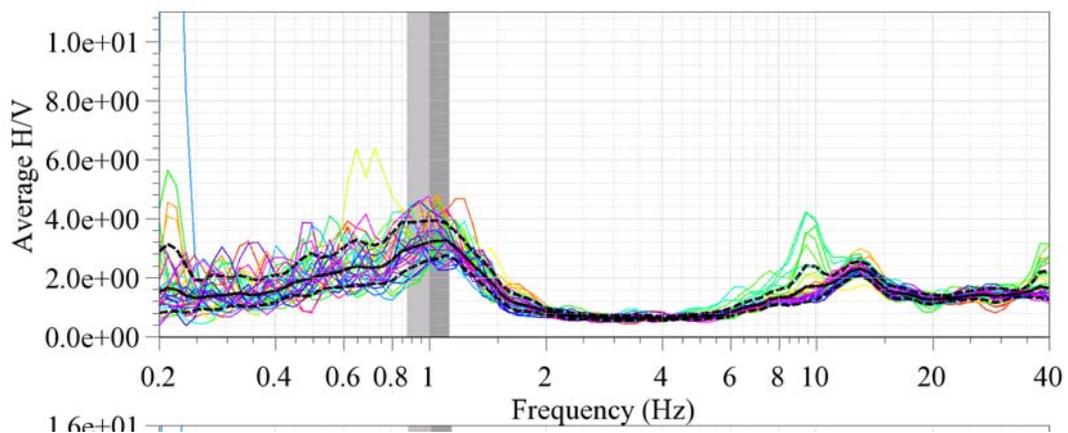


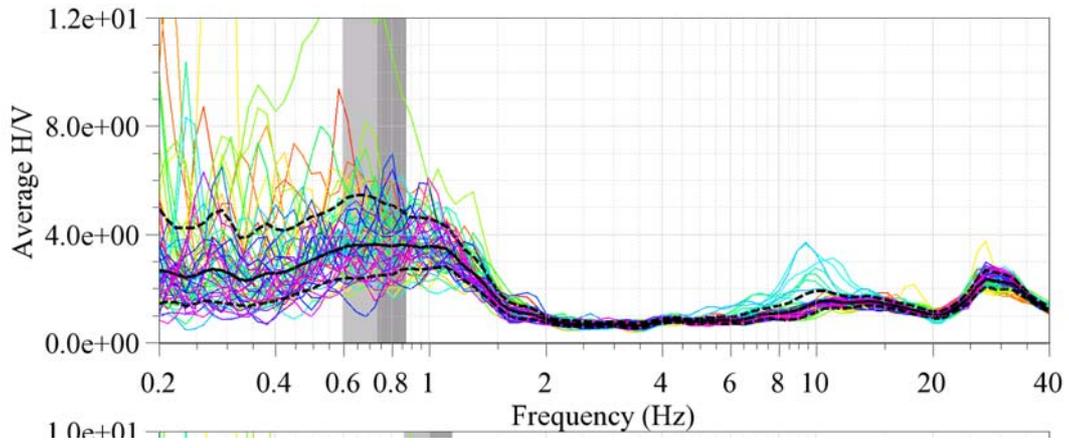
Abbildung 3. Resultat der H/V Polarisationsanalyse bei der Station SBAJ (blau: klassische Methode; grün: Frequenz-Zeit Analyse), und im Arrayzentrum (rot: klassische Methode).

Die Analyse der H/V Kurven in der Umgebung der Station SBAJ (Abbildung 4) zeigt, dass die Fundamentalfrequenz und die Amplitude des H/V Peaks innerhalb des Arrays relativ konstant sind. Die Fundamentalfrequenzen sind im Bereich 0.6-1.2 Hz (Amplituden von 2-4). Dies weist auf eine gleichbleibende Struktur des Untergrundes innerhalb des Arrays hin und erhöht die Zuverlässigkeit und Qualität der gemessenen Dispersionskurve (s. Abb. 5).

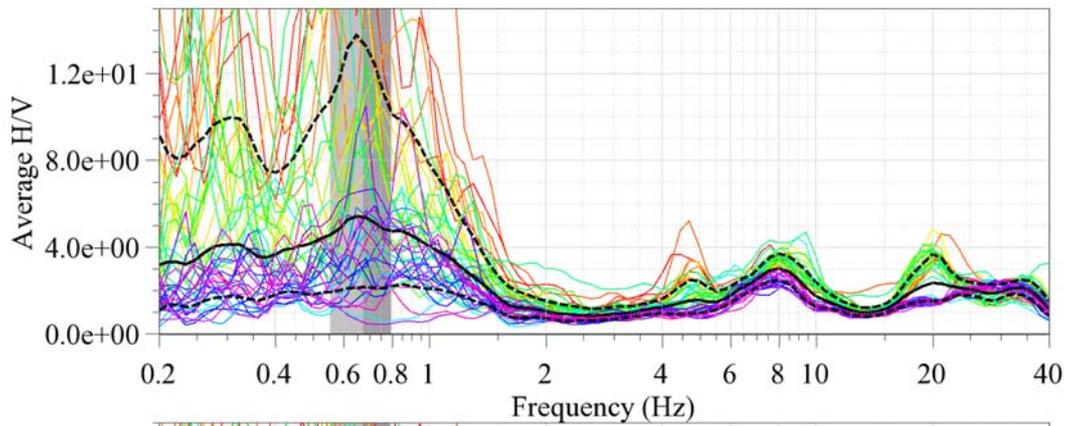
Array-Zentrum



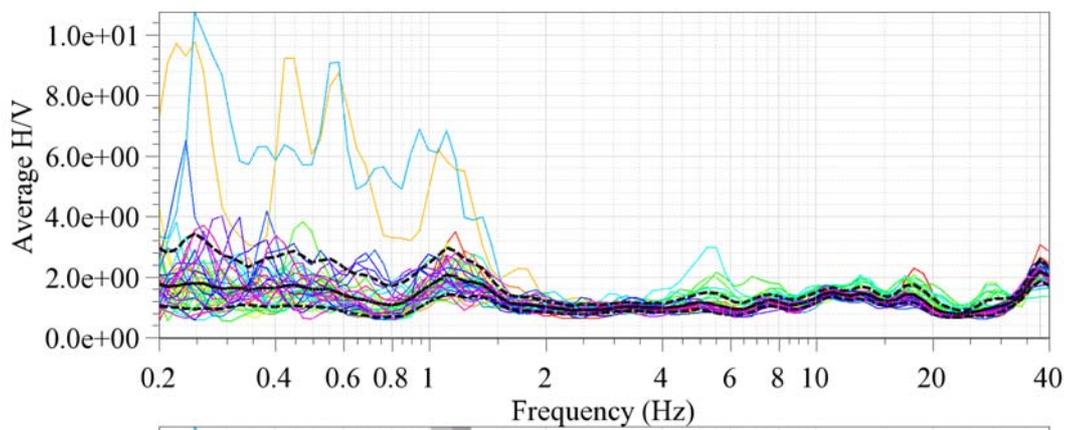
Ring3 Station Nord 0°



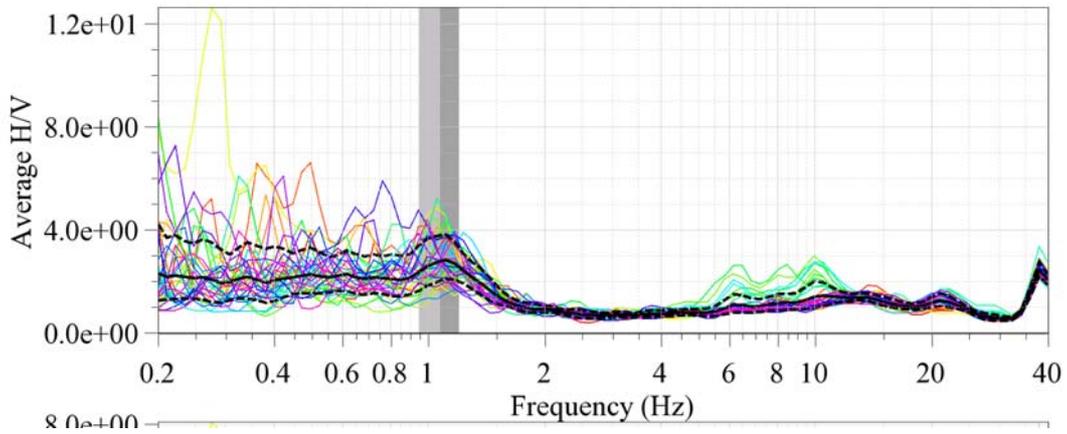
Ring3 Station North 60°



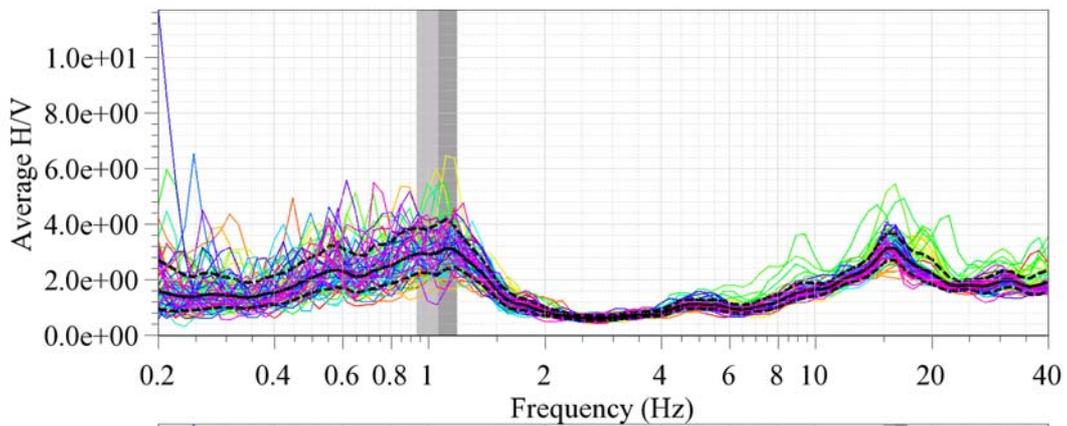
Ring3 Station Nord 120°



Ring3 Station Nord 180°



Ring3 Station Nord 240°



Ring3 Station Nord 300°

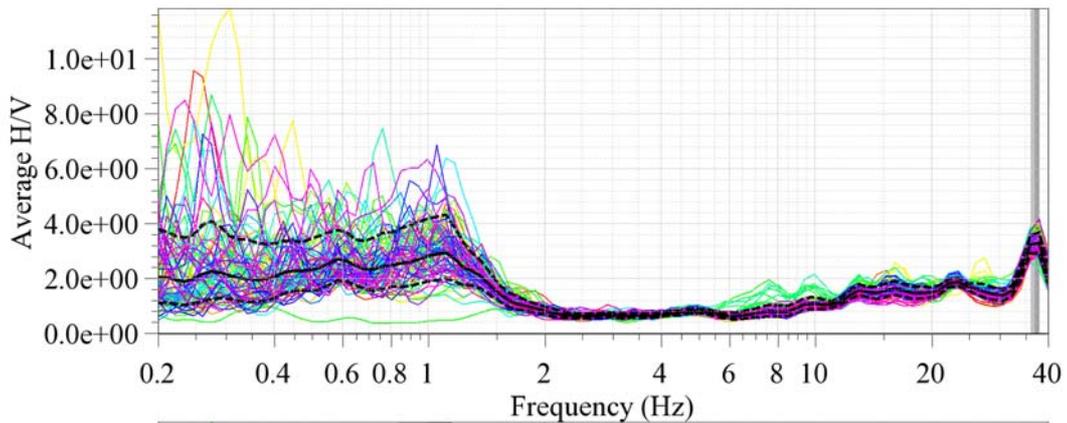


Abbildung 4. Resultat der H/V Polarisationsanalyse der Stationen im Array SBAJ.

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.

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.

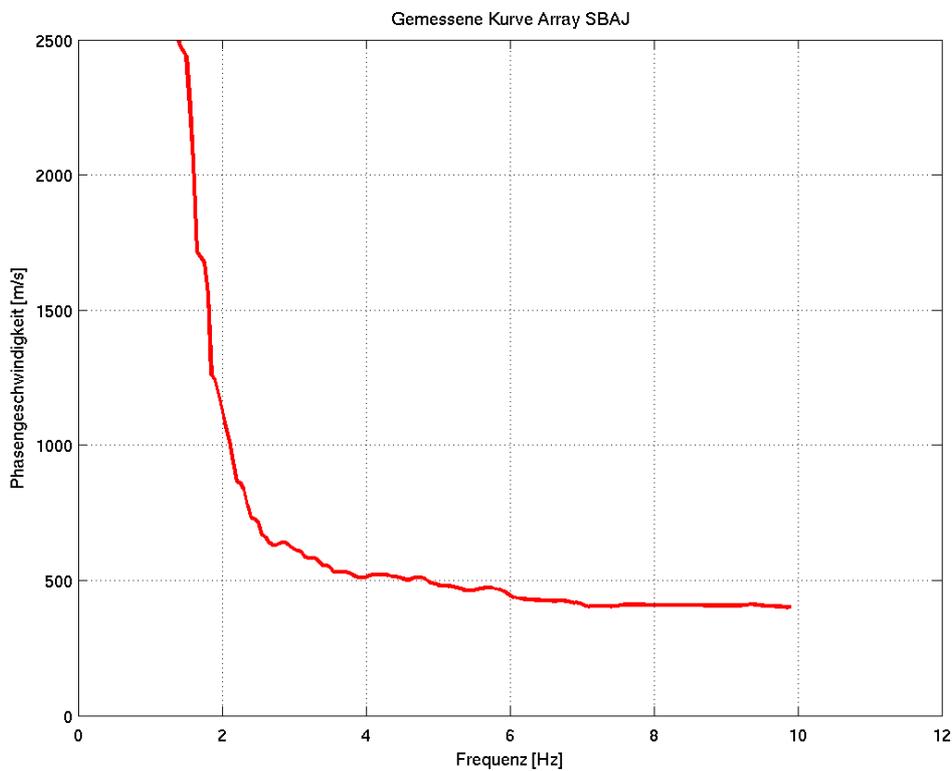


Abbildung 5. Gemessene Dispersionskurve. Es wurden hier nur die vertikalen Komponenten des Arrays analysiert.

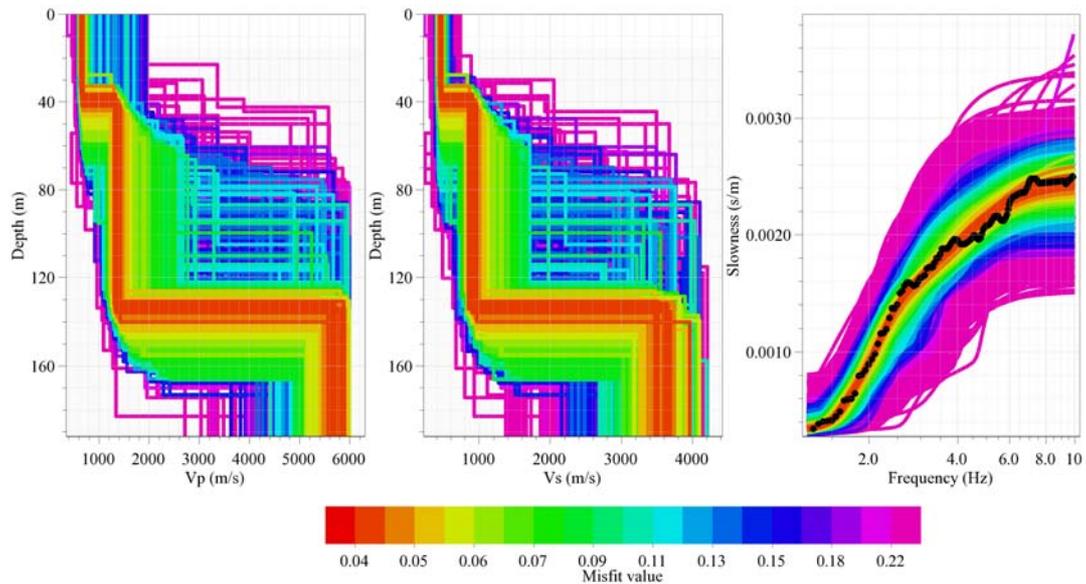


Abbildung 6. Gemessene Dispersionskurven und daraus invertierte Modelle bei Station SBAJ. Die roten Bereiche zeigen die am besten passenden Modelle, wenn nur mit Hilfe der Dispersionskurve invertiert wird. Es wurde ein Modell mit drei Schichten angenommen. Für diese Analyse wurde die Software CAP und SESSARAY 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 und H/V Kurve in den verschiedenen Frequenzbereichen. Die Anpassung an die gemessenen Kurven ist in Abbildung 7 gezeigt. Dabei werden folgende Strukturen unterschieden:

- Blaue Kurven: Berücksichtigung der gemessenen Phasengeschwindigkeit; Berücksichtigung der hochfrequenten Flanke der H/V Kurve.
- Grüne Kurven: Berücksichtigung der gemessenen Phasengeschwindigkeit; Berücksichtigung der beiden Flanken der H/V Kurve.

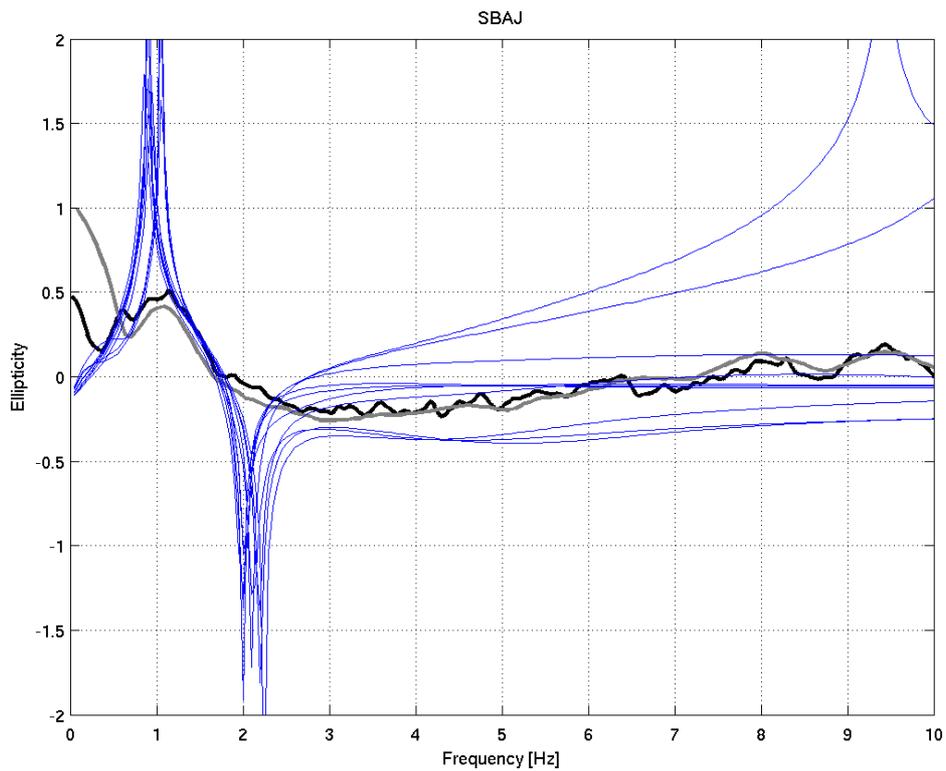
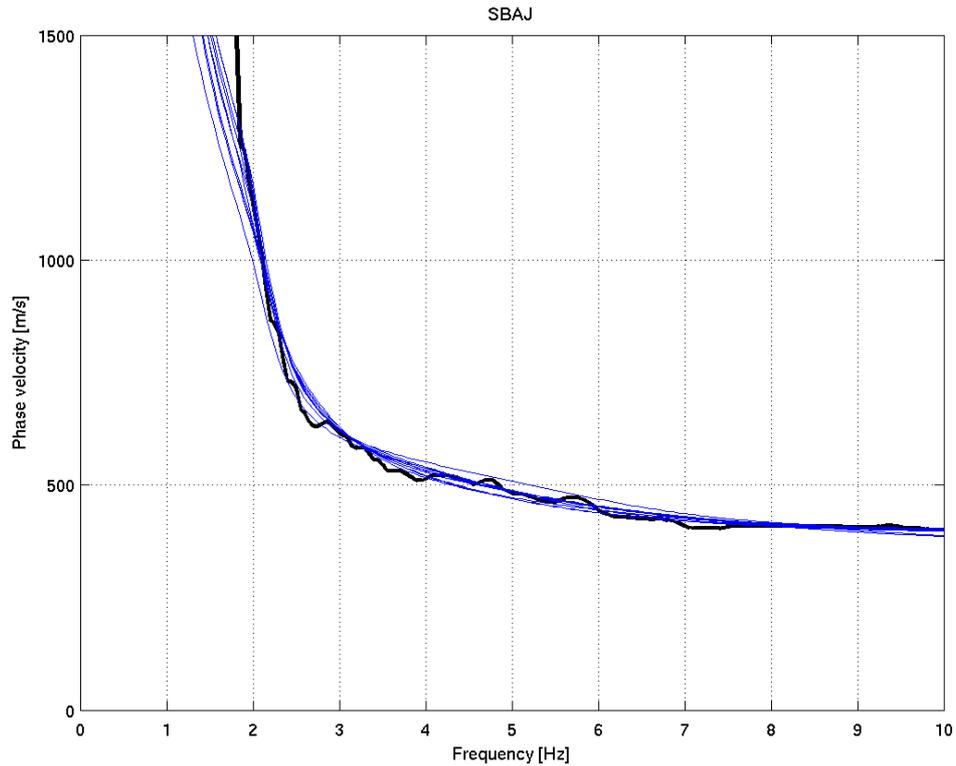


Abbildung 7. Anpassung der Phasengeschwindigkeit (oben) an die gemessenen Werte und der Elliptizität (unten) der Rayleighwellen an das H/V Spektrum am Standort SBAJ. Für diese Analyse wurde ein genetischer Algorithmus verwendet (Fäh et al., 2003).

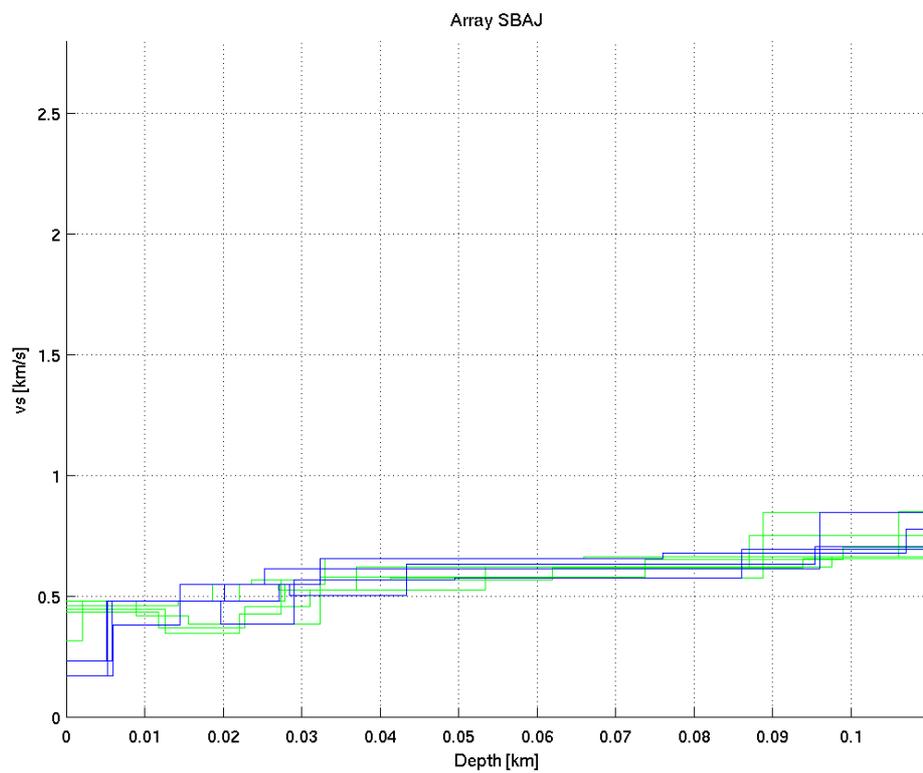
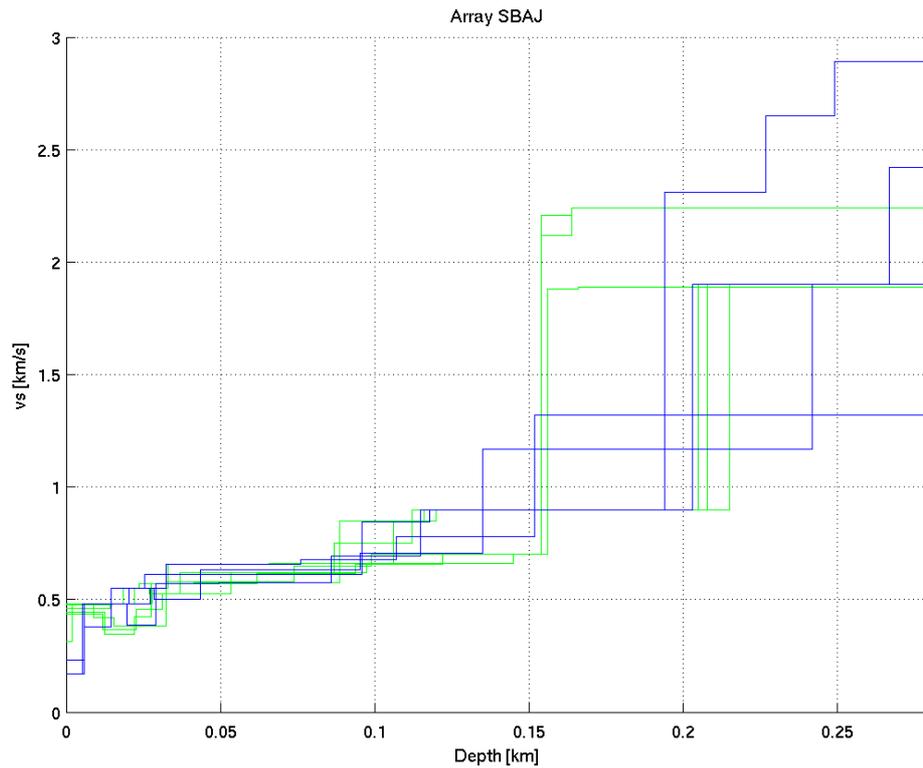


Abbildung 8. Invertierte S-Wellenprofile. Die blauen Strukturen entsprechen den bevorzugten Modellen, da die Gesamtmächtigkeit ungefähr mit dem geologischen Bild übereinstimmt.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Inversion gezeigt. Die bevorzugten Modelle (blau) ergeben an der Oberfläche eine Schicht von ca. 5m Mächtigkeit mit einer mittleren S-Wellengeschwindigkeit von 190-250 m/s. Diese erste Schicht ist jedoch aufgrund der limitierten Phasengeschwindigkeitswerte gegen hohe Frequenzen nicht gesichert. Die zweite Schicht wird durch Niederterrassenschotter ausgemacht, bestehend aus Kies und Sand, welche z.T. zu Nagelfluhbänken verkittet sind. Die Mächtigkeit ist ca. 15-20m und die mittlere S-Wellengeschwindigkeit liegt im Bereich 400-500m/s. Der Grundwasserspiegel liegt in ca. 9 m Tiefe. Im Tiefenbereich von ca. 25 m ist der geologische Fels erreicht (Melettaschichten, Härteklasse 1). Die ersten 20 m der Melettaschicht sind verwittert; die Geschwindigkeit nimmt mit zunehmender Tiefe zu. Die mittlere S-Wellengeschwindigkeit liegt im Bereich 500-600m/s. Zwischen 40m und ca. 90-100m Tiefe bleibt die Geschwindigkeit konstant und erreicht mittlere Werte von 550 bis 650m/s. In grösseren Tiefen ab ca. 100m steigt die mittlere S-Wellengeschwindigkeiten an (ca. 50m mit mittleren S-Wellengeschwindigkeiten von 700-900m/s) und erreicht ab ca. 150m Tiefe 900 bis 1300 m/s. In ca. 200-250m 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, mit geringer S-Wellengeschwindigkeit in der ersten Schicht).

Andere Messungen am Standort oder in ähnlichen Strukturen

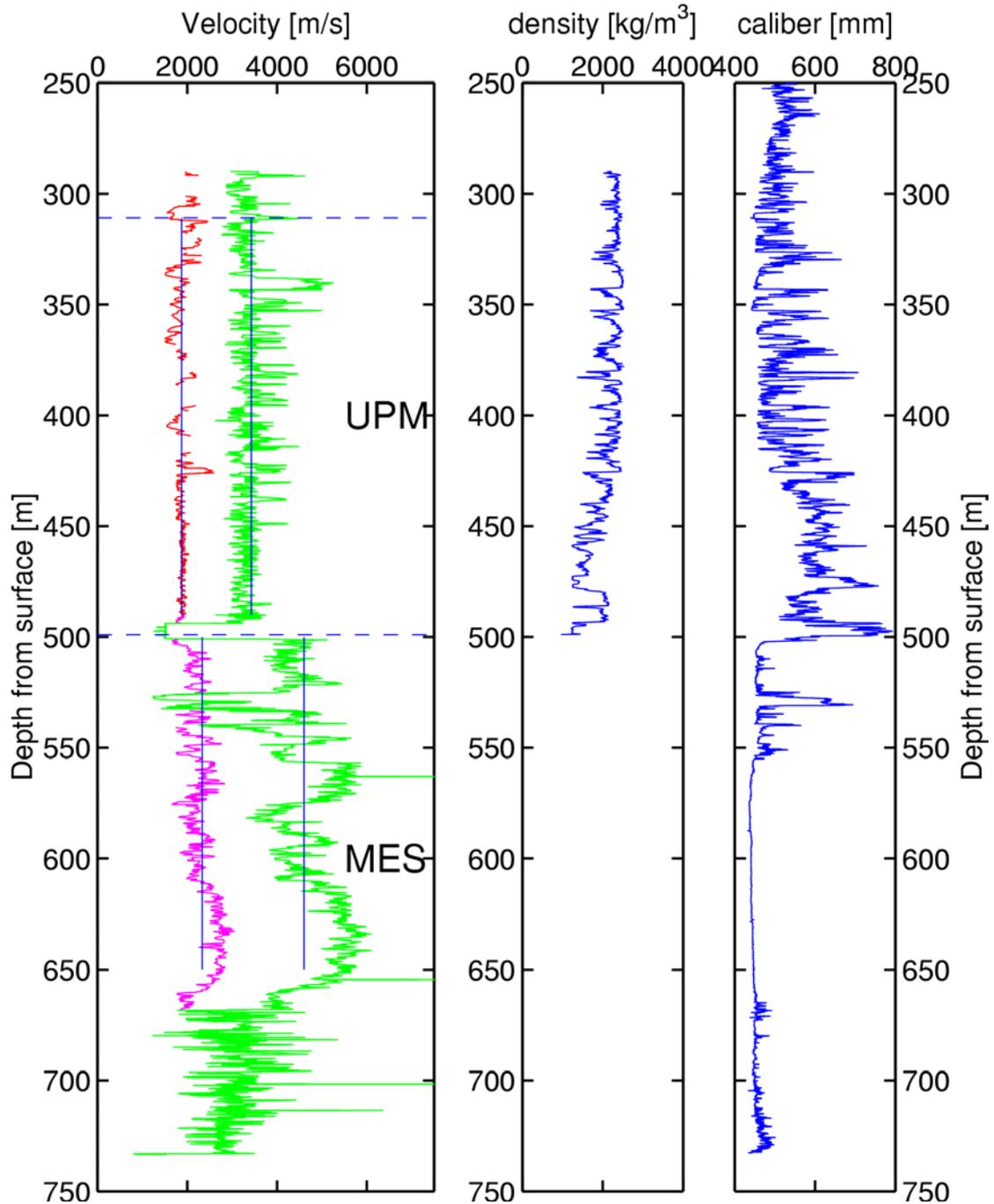


Abbildung 9. Im Bohrloch der Geothermie-Bohrung Otterbach wurden in einem Tiefenbereich zwischen 300 und 650m Sonic-Log-Messungen durchgeführt (GPI, 2001). Die gezeigten tieferen Werte sind S-Wellengeschwindigkeiten, die höheren P-Wellengeschwindigkeiten. Vertikale Linien zeigen mittlere Werte (GPI,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

Koordinaten: 610851 / 268474
 Höhe über Meer: 254m
 Grundwasserstand: 245m. ü. M

----- Bohrung BS-1.P.3212 -----

Quartär

Pleist.	0.00 bis 1.25	künstliche Auffüllung / brauner, humoser Sand mit Geröllen
	1.25 bis 3.20	künstliche Auffüllung / sandig-lehmiger, brauner Kies mit Ziegelresten
	3.20 bis 5.30	künstliche Auffüllung / brauner, lehmiger und sandiger Kies mit Ziegelresten
	5.30 bis 7.70	künstliche Auffüllung / dunkelgrauer, magerer, sandiger Lehm mit Kies und Bausteinen
	7.70 bis 10.00	künstliche Auffüllung / sandiger, grauer, leicht lehmiger Kies mit Ziegelresten
	10.00 bis 11.10	Niederterrassenschotter / graue, sandführende, grobe Rheinschotter mit Nagelfluhbrocken, Ø der Gerölle bis 15 cm
	11.10 bis 12.45	Niederterrassenschotter / sandführende, grobe, graue Rheinschotter, Ø der Gerölle bis 15 cm
	12.45 bis 14.40	Niederterrassenschotter / sandreiche, mittelgrobe, graue Rheinschotter, Ø der Gerölle bis 5 cm
	14.40 bis 16.10	Niederterrassenschotter / sandführende, mittelgrobe, graue Rheinschotter, Ø der Gerölle bis 5 cm
	16.10 bis 17.05	Niederterrassenschotter / sandführende, grobe, graue Rheinschotter, Ø der Gerölle bis 15 cm
	17.05 bis 17.50	Meletta Schichten / graubraun angewitterter, feinsiltiger Ton, fest gelagert
	17.50 bis 27.50	Meletta Schichten / grauer, feinsiltiger, glimmerhaltiger Ton mit feinen Siltzwischenlagen, einzelne steile Klüfte, flach gelagert, leicht feucht, hart

----- Bohrtiefe -----

 Tertiär

Oligo. 240.00 Top Sannoisien Streifige Mergel /
Konglomerate, Kalksteine und sandige Mergel
(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Kreide

nicht vorhanden

Jura

Malm

Dogger

Top Lias 834.00 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. 1209.00 fein- bis grobkörniger Sandstein
(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Appendix B: F-K Analyse für die Arraykonfigurationen

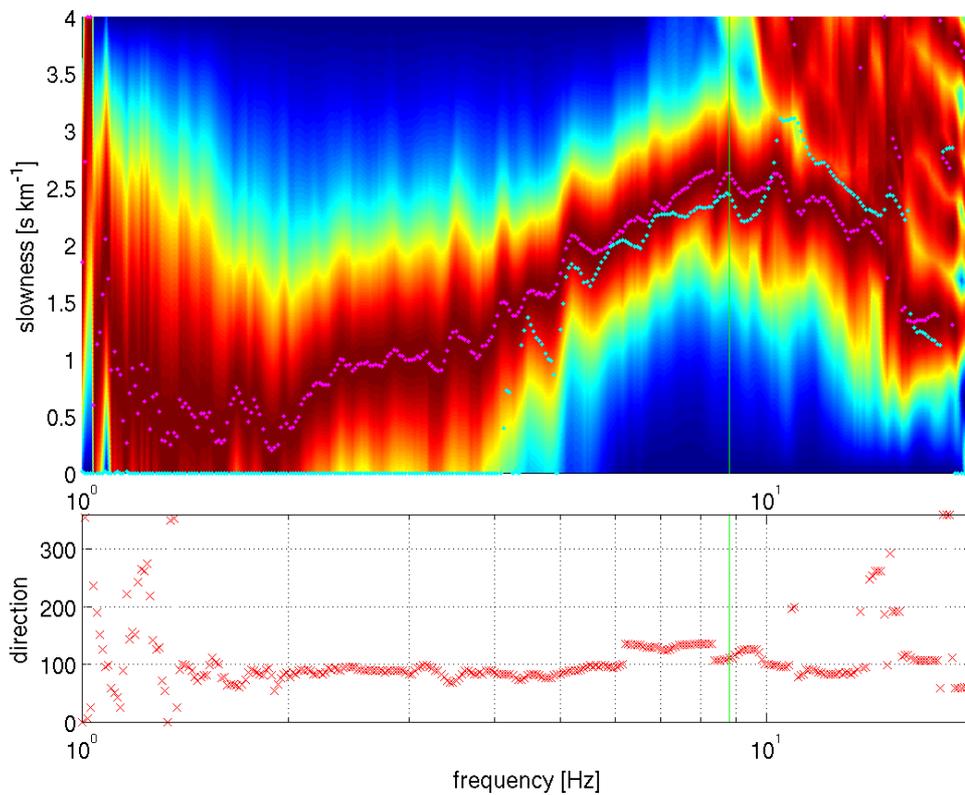
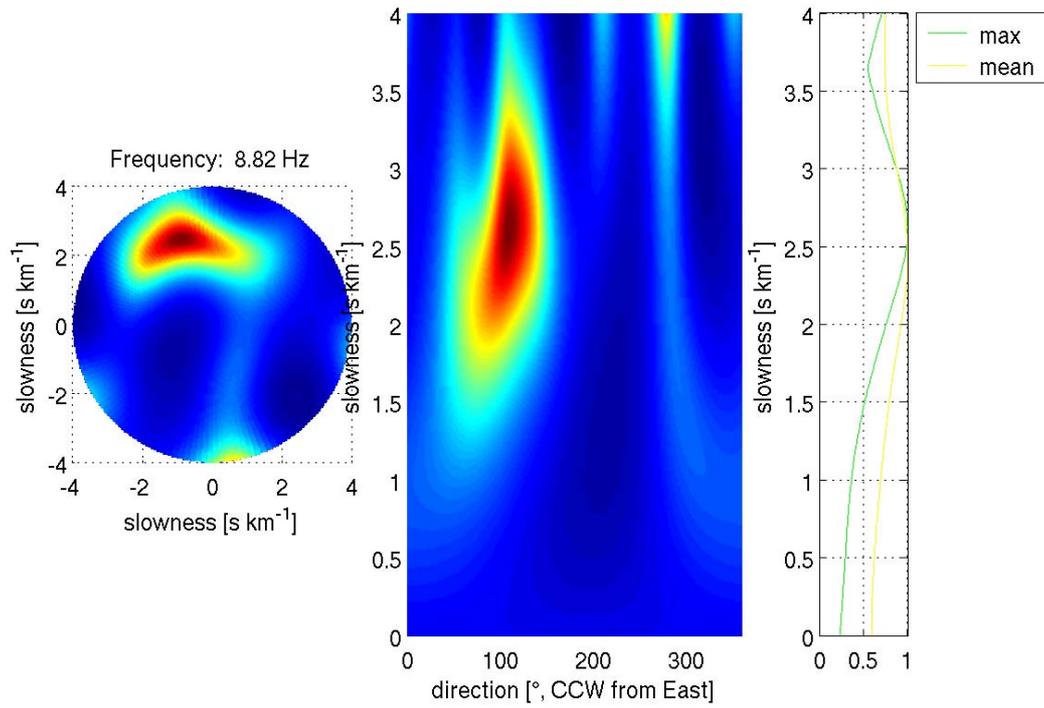


Abbildung B.1. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 20 m Radius.

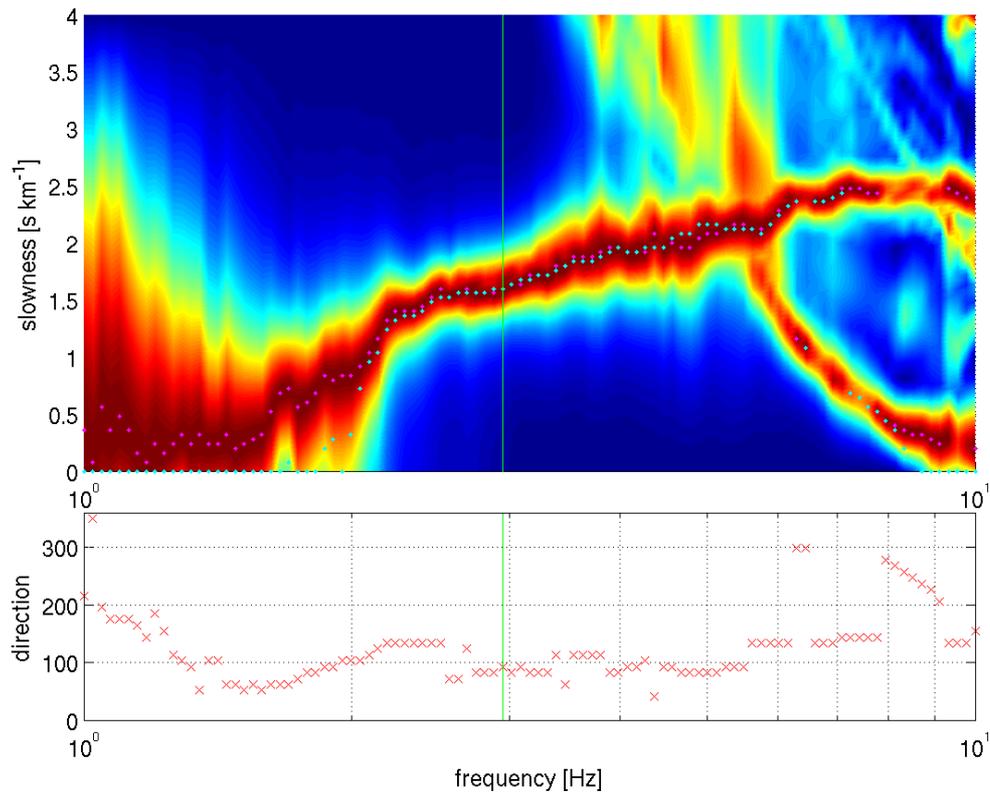
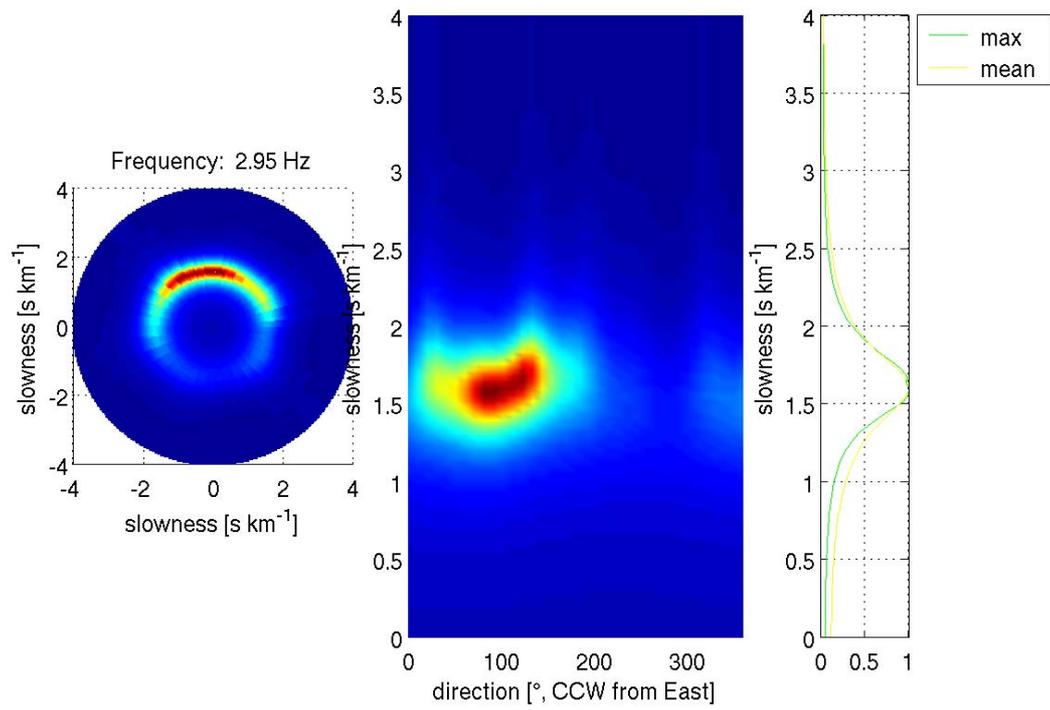


Abbildung B.2. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 50 m Radius.

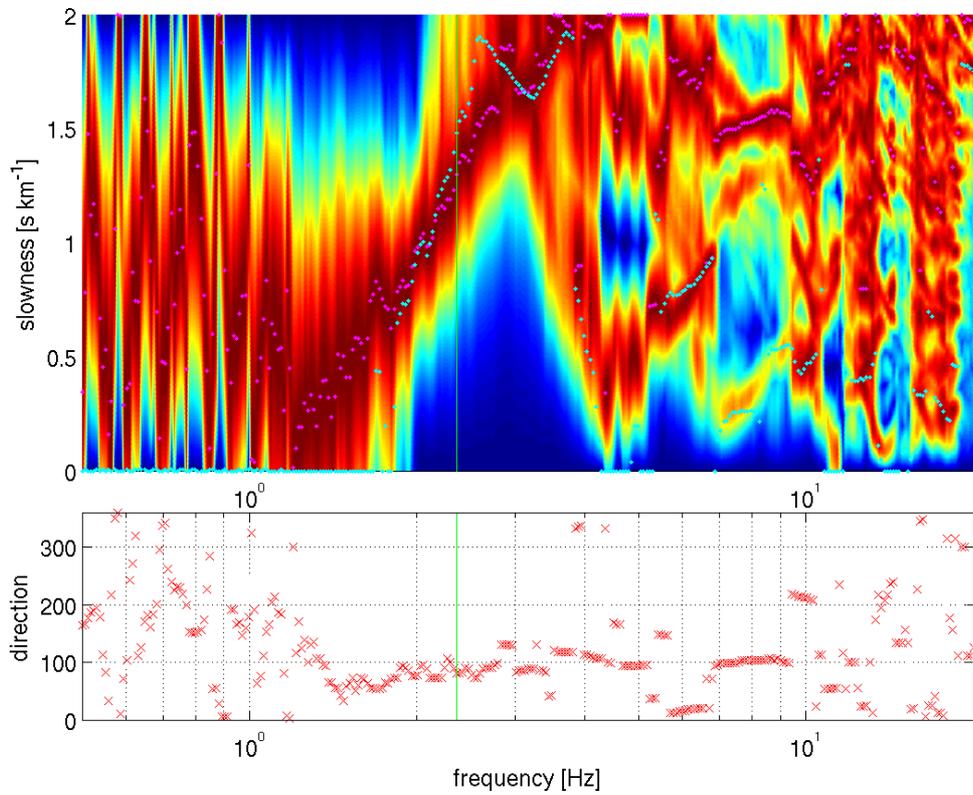
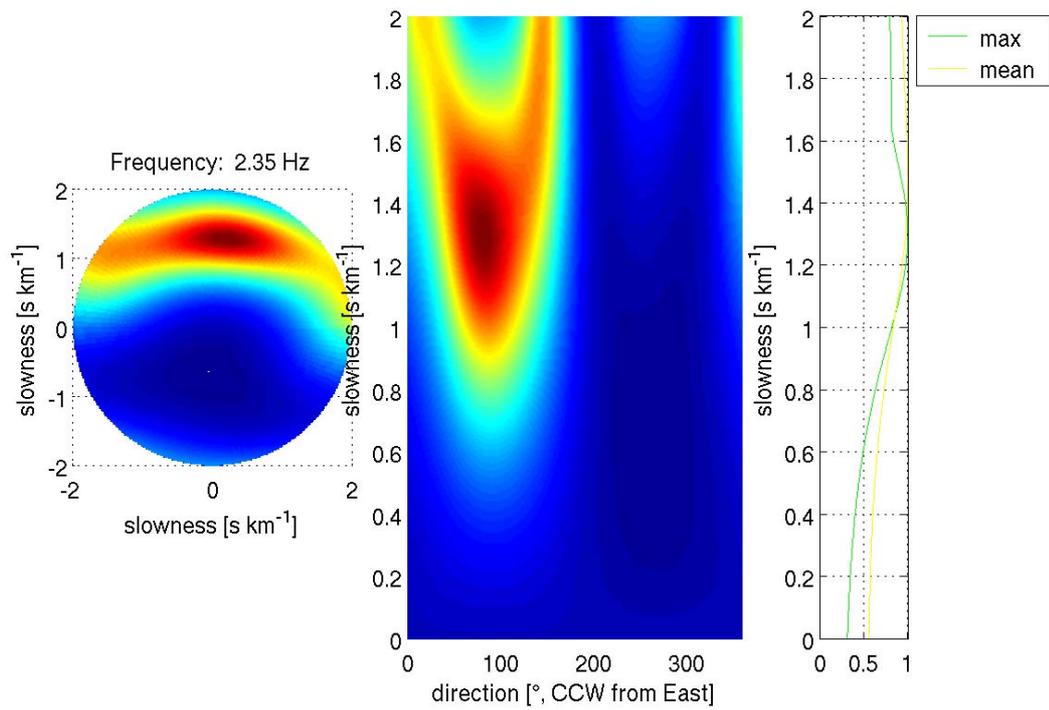


Abbildung B.3. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 115 m Radius.

Appendix C: Mögliche Strukturen am Standort SBAJ

Die hier gegebenen Strukturen entsprechen blauen Strukturen in Abbildung 8.

Struktur Nr.7

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)
0.52461E-02	0.18000E+01	0.61021E+00	0.81939E-02	0.17057E+00	0.58629E-01
0.14997E-01	0.19000E+01	0.70000E+00	0.71429E-02	0.48000E+00	0.20833E-01
0.50084E-02	0.19000E+01	0.13502E+01	0.37033E-02	0.54986E+00	0.18187E-01
0.35769E-01	0.20000E+01	0.16635E+01	0.30057E-02	0.61248E+00	0.16327E-01
0.34948E-01	0.22000E+01	0.25276E+01	0.19782E-02	0.61339E+00	0.16303E-01
0.21907E-01	0.22000E+01	0.38998E+01	0.12821E-02	0.84589E+00	0.11822E-01
0.85212E-01	0.23000E+01	0.43999E+01	0.11364E-02	0.89987E+00	0.11113E-01
0.14035E+00	0.23000E+01	0.44995E+01	0.66674E-03	0.19000E+01	0.52632E-02
	0.23000E+01	0.46475E+01	0.64550E-03	0.24039E+01	0.41598E-02

Struktur Nr.9

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)
0.59119E-02	0.18000E+01	0.60222E+00	0.83026E-02	0.23271E+00	0.42971E-01
0.13763E-01	0.19000E+01	0.12002E+01	0.41659E-02	0.47981E+00	0.20842E-01
0.93710E-02	0.19000E+01	0.13509E+01	0.37014E-02	0.38524E+00	0.25958E-01
0.20447E-01	0.20000E+01	0.23070E+01	0.21673E-02	0.56874E+00	0.17583E-01
0.36497E-01	0.22000E+01	0.35647E+01	0.14026E-02	0.57513E+00	0.17387E-01
0.28995E-01	0.22000E+01	0.37910E+01	0.13189E-02	0.69296E+00	0.14431E-01
0.78516E-01	0.23000E+01	0.40609E+01	0.12312E-02	0.89741E+00	0.11143E-01
0.33478E-01	0.23000E+01	0.44967E+01	0.66716E-03	0.23119E+01	0.43255E-02
	0.23000E+01	0.46490E+01	0.64530E-03	0.26457E+01	0.37798E-02

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)
0.59150E-02	0.18000E+01	0.60049E+00	0.83265E-02	0.16874E+00	0.59262E-01
0.85676E-02	0.19000E+01	0.70003E+00	0.71425E-02	0.37999E+00	0.26317E-01
0.13869E-01	0.19000E+01	0.13500E+01	0.37036E-02	0.54999E+00	0.18182E-01
0.15000E-01	0.20000E+01	0.14003E+01	0.35708E-02	0.50312E+00	0.19876E-01
0.52026E-01	0.22000E+01	0.31492E+01	0.15877E-02	0.63161E+00	0.15832E-01
0.40061E-01	0.22000E+01	0.33307E+01	0.15012E-02	0.70617E+00	0.14161E-01
0.10624E+00	0.23000E+01	0.43998E+01	0.11364E-02	0.11743E+01	0.85161E-02
0.24876E-01	0.23000E+01	0.44906E+01	0.66806E-03	0.19008E+01	0.52609E-02
	0.23000E+01	0.46489E+01	0.64531E-03	0.24225E+01	0.41279E-02