

SBAE: Bestimmung eines Wellengeschwindigkeitsprofils

Standort: Basel Lange Erlen, Basel Stadt

Seismische Station: SBAE

Methode: Arraymessungen, Inversion kombiniert mit H/V

Datum: Februar 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/SBAE

Mächtigkeit (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Kommentar / Geologie
Ca.8-10	> 1350	190-230	Niederterrassenschotter, locker gelagert, im Grundwasser
20	1500-2500	Gradient von 300-400 bis 550-650	Melettaschichten verwittert durch Wassereinfluss
70-80	1700-2500	650-750	Melettaschichten (Härteklasse 1)
200-250	2200-2500	1150-1350	Melettaschichten (Härteklasse 1)
			Geophysikalischer Fels, Sannoisien. Die lithologische Schicht innerhalb des Sannoisien ist entweder ein Kalkkonglomerat oder ein harter Kalkstein. Beide besitzen die Härteklasse 4.

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

Geologie

Die obersten Schichten bestehen aus den Niederterrassenschottern der Wiese und des Rheins, welche sich an dieser Stelle verzahnen. Die Wiesenschotter bestehen aus Granitgesteinen des Schwarzwaldes, sowie dem Bundsandstein, welcher aber selten vorkommt. Häufig sind Sandlagen zu finden. Die Niederterrassenschotter des Rheins 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 geologischen Fels übergehen, nimmt der Lehmantel zu und kann z.T. die Schotter ganz ersetzen. Die Niederterrassenschotter dienen als Grundwasserspeicher, sind wassergesättigt und sehr locker gelagert.

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 ca. 253 m ü.M., in 2 m Tiefe.

Referenz: Bohrkataster BS /BL

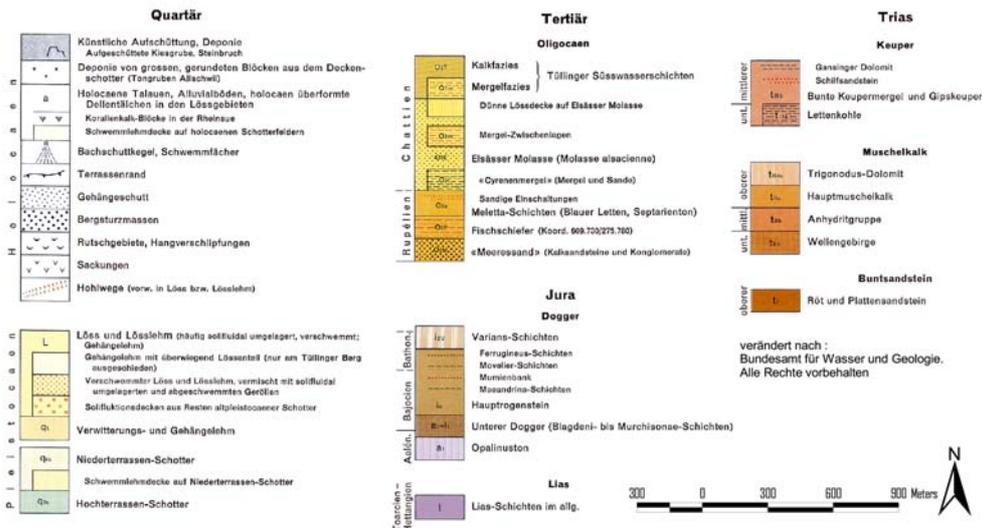


Abbildung 1. Oberflächengeologie beim Standort SBAE.

Messungen der Eigenfrequenz der Lockersediment-Ablagerungen

Abbildung 2 zeigt die Lage des Arrays bei der seismischen Station SBAE. 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 SBAE.

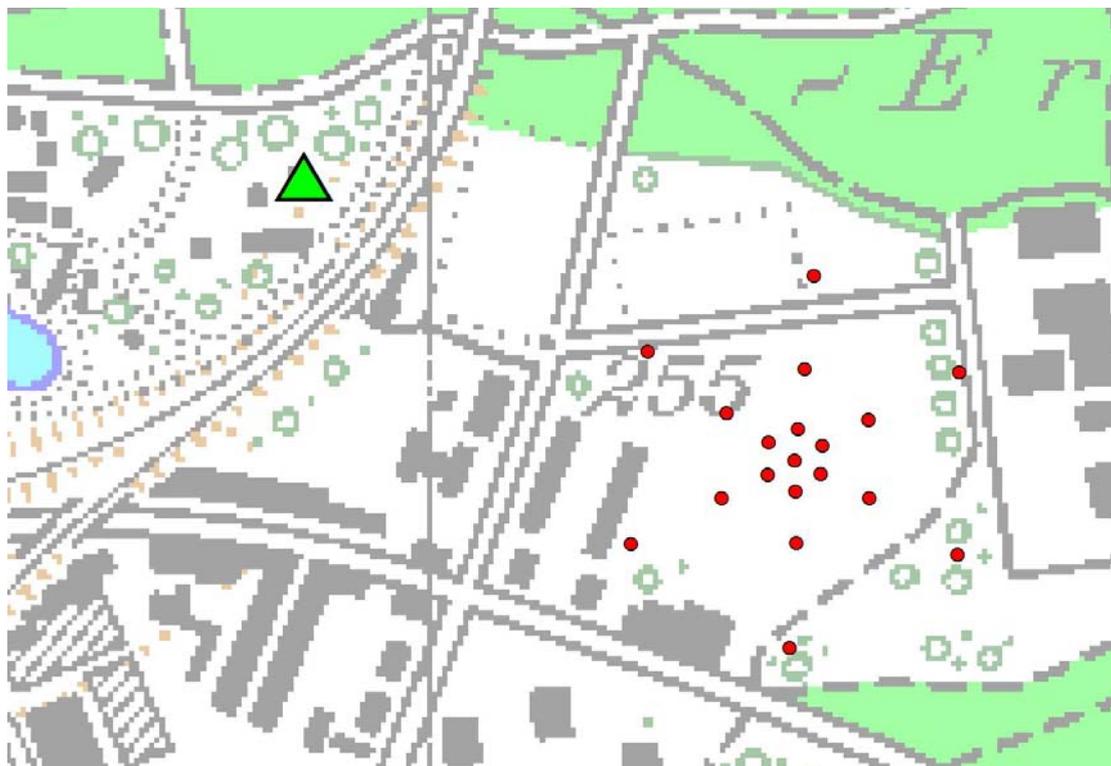


Abbildung 2. Angewandte Arraygeometrien bei der Station SBAE (rote Punkte). Die Lage der Starkbebenstation SBAE ist als Dreieck eingezeichnet. Der Radius des äusseren Ringes beträgt 90 m.

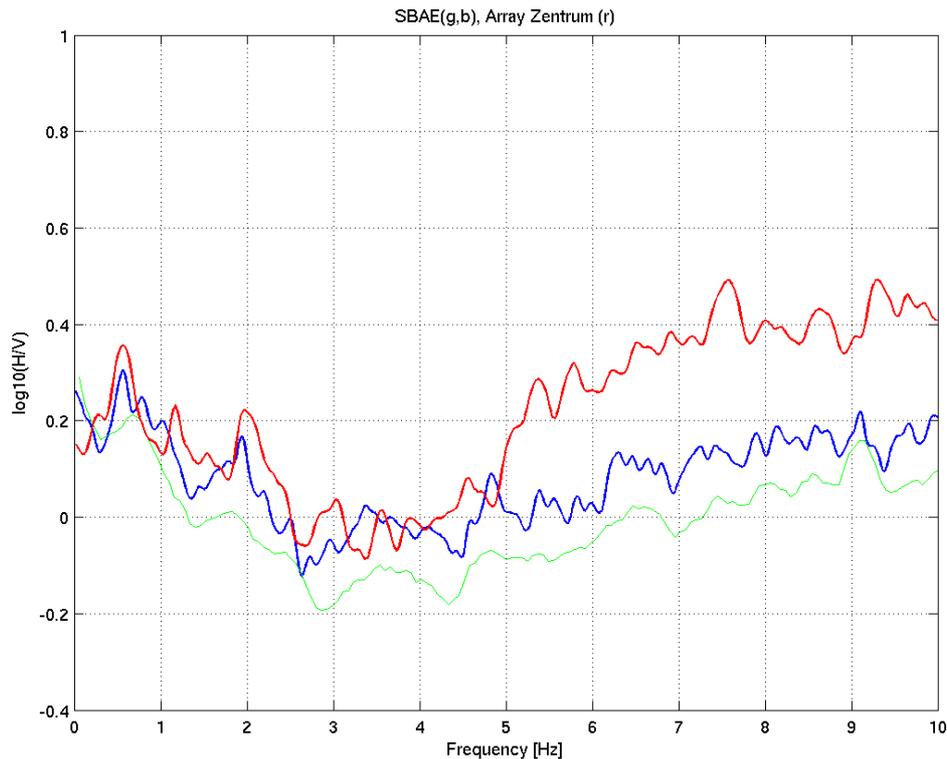
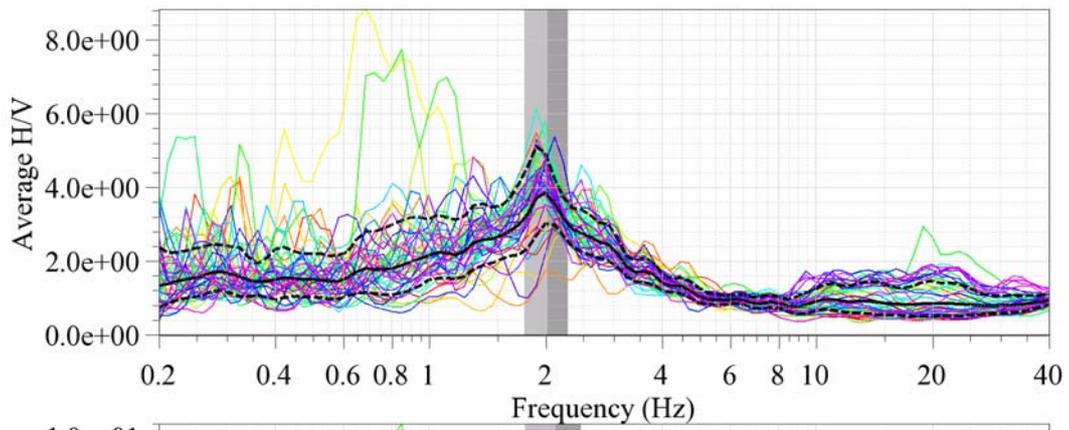


Abbildung 3. Resultat der H/V Polarisationsanalyse bei der Station SBAE (blau: klassische Methode; grün: Frequenz-Zeit Analyse), und im Arrayzentrum (rot: klassische Methode).

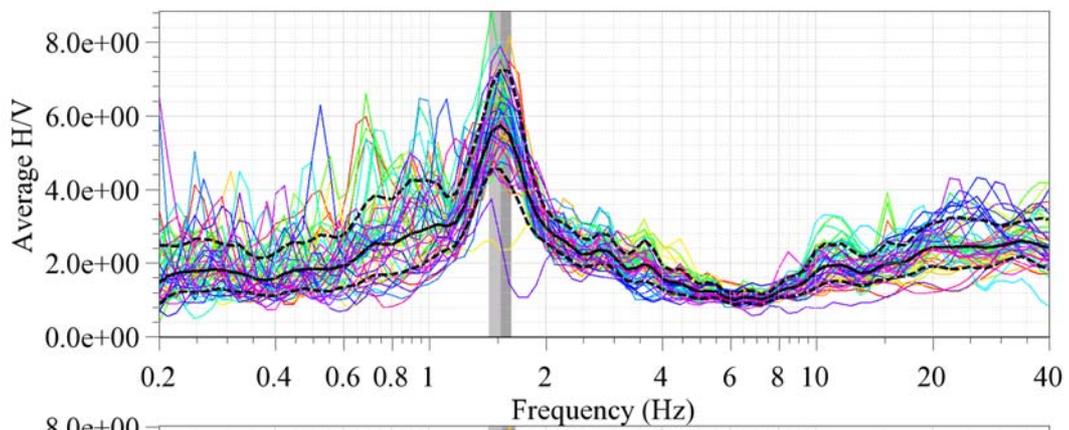
Die H/V Kurven im Bereich der Fundamentalfrequenz (0.5-0.6 Hz) sind vergleichbar. Die H/V Kurven bei der Station SBAE und vorallem bei der Zentralstation des Arrays weisen ein zweites Maximum bei 7.5-10 Hz auf. Dieses zweite Maximum deutet darauf hin, dass zwischen den oberflächennahen Lockersedimenten und den tiefer liegenden Lockersedimenten ein grösserer S-Wellen Geschwindigkeitskontrast vorliegt. Da bei der Station SBAE in diesem Frequenzbereich grosse Verstärkungen bei Erdbeben beobachtet wurden, können wir annehmen, dass die erste Schicht geringe S-Wellengeschwindigkeiten aufweist. Die Unterschiede der H/V Kurven im Bereich 5-10 Hz geben einen Hinweis über den Sandanteil der oberflächennahen Schichten.

Der Standort der seismischen Station liegt auf dem Damm des Flüsschens Wiese. Der Grundwasserspiegel liegt daher etwas tiefer als bei den Array-Stationenstandorten. Die H/V Analyse an den verschiedenen Stationen im Array zeigt (Abbildung 4), dass die Fundamentalfrequenz leicht variiert (1.5-2.5 Hz) und der Peak stark ausgebildet ist (Amplitude bis zu 6-7). Dies lässt auf eine grosse Verstärkung seismischer Wellen schliessen.

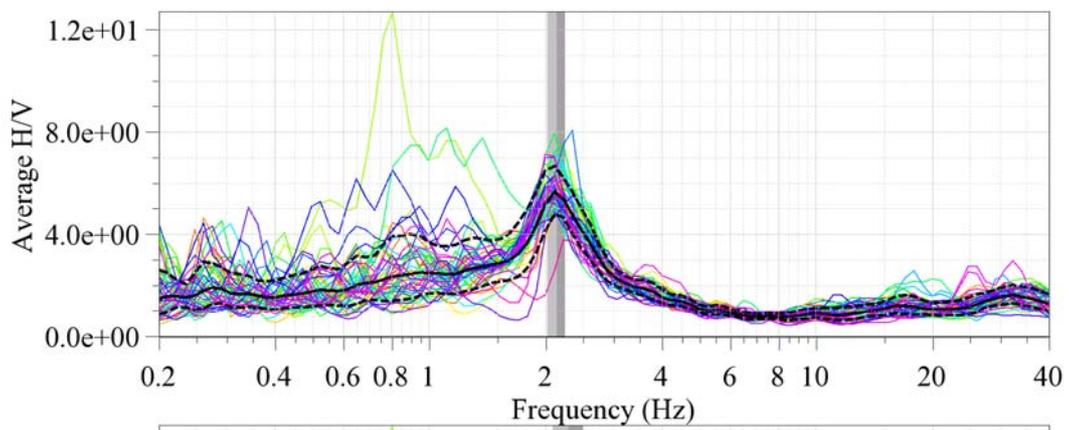
Array-Zentrum



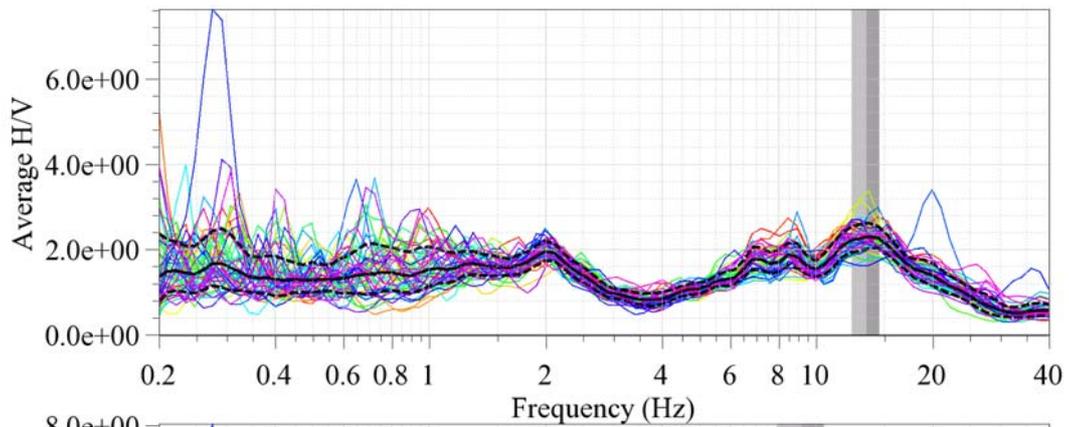
Ring3 Station Nord 0°



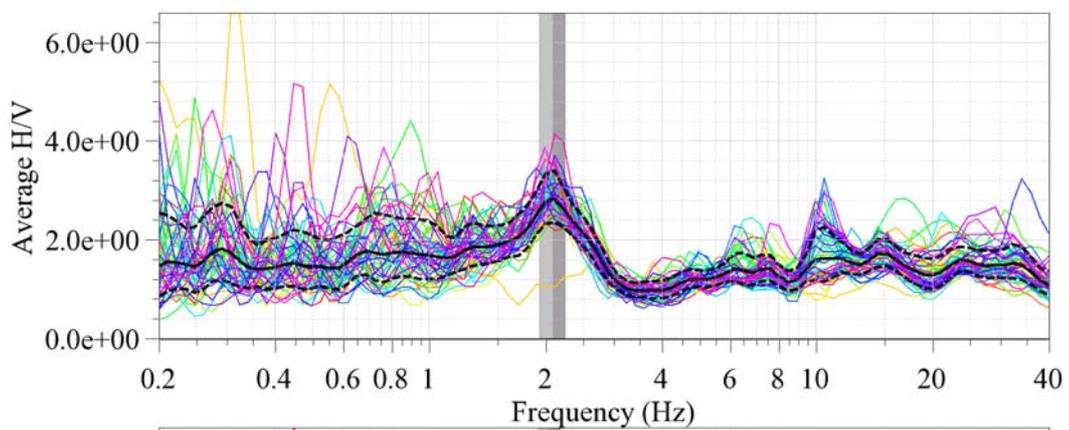
Ring3 Station North 60°



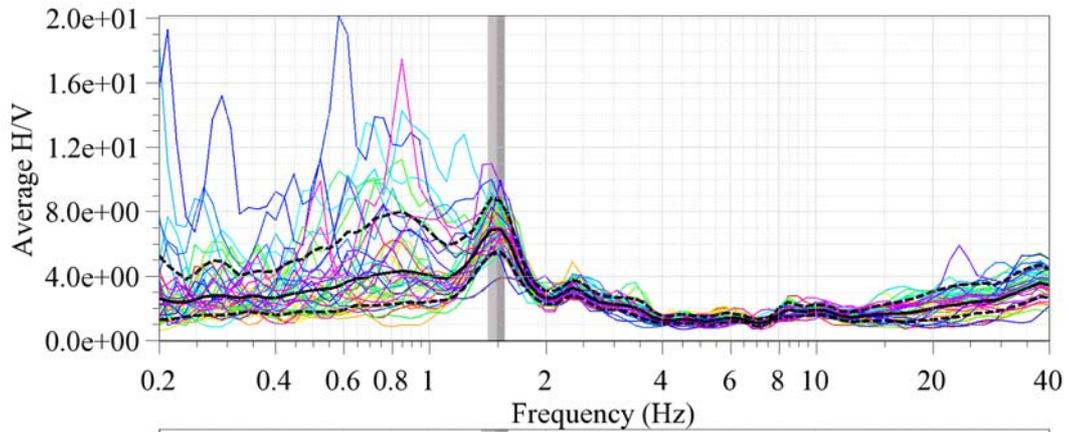
Ring3 Station Nord 120°



Ring3 Station Nord 180°



Ring3 Station Nord 240°



Ring3 Station Nord 300°

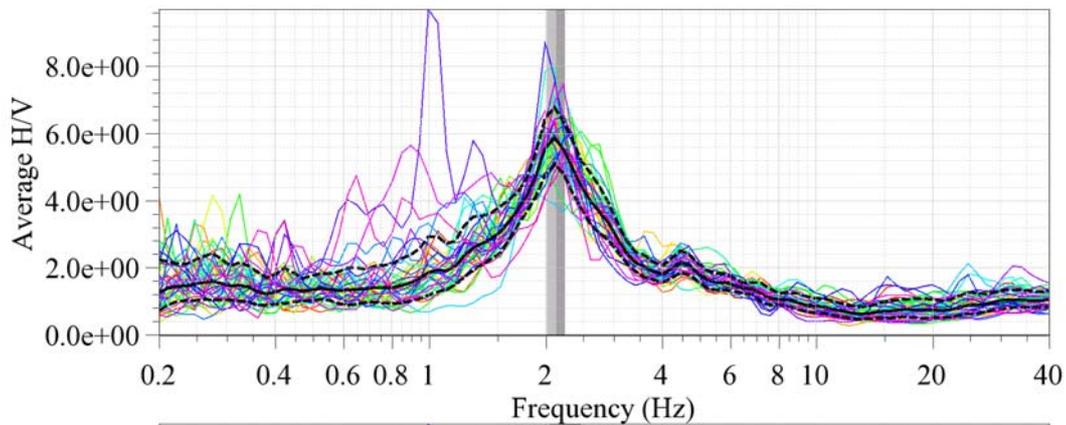


Abbildung 4. Resultat der H/V Polarisationsanalyse der Stationen im Array bei Station SBAE.

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 bestimmt werden kann. Die Qualität der gemessenen Dispersionskurve ist nicht besonders gut. 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.

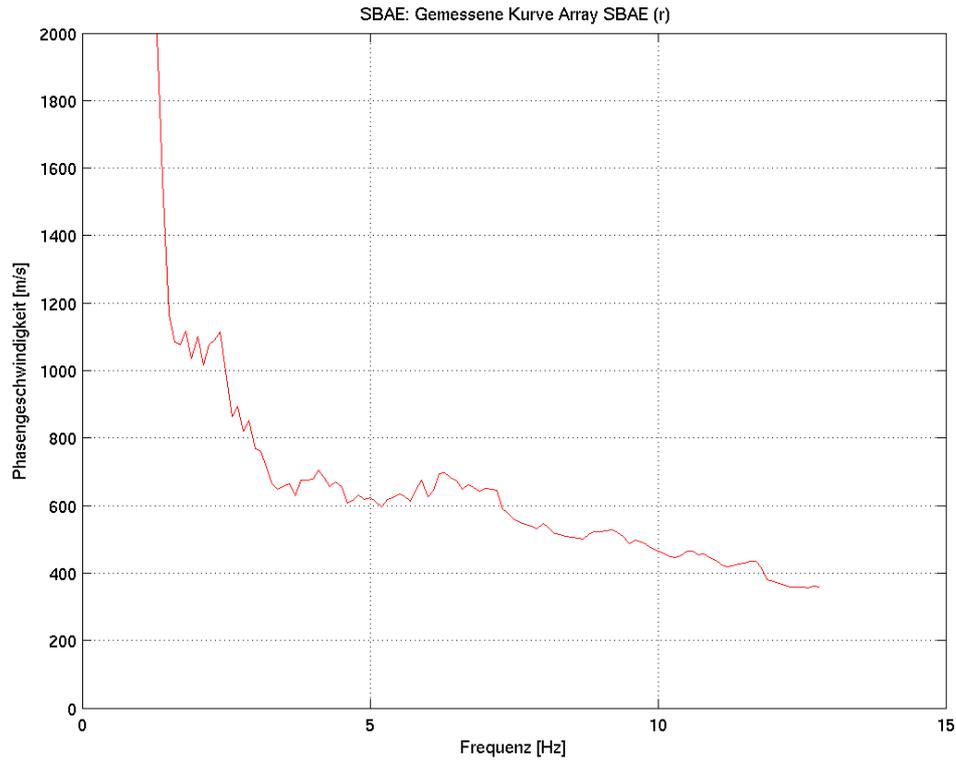


Abbildung 5. Gemessene Dispersionskurve. Es wurden hier nur die vertikalen Komponenten des Arrays analysiert.

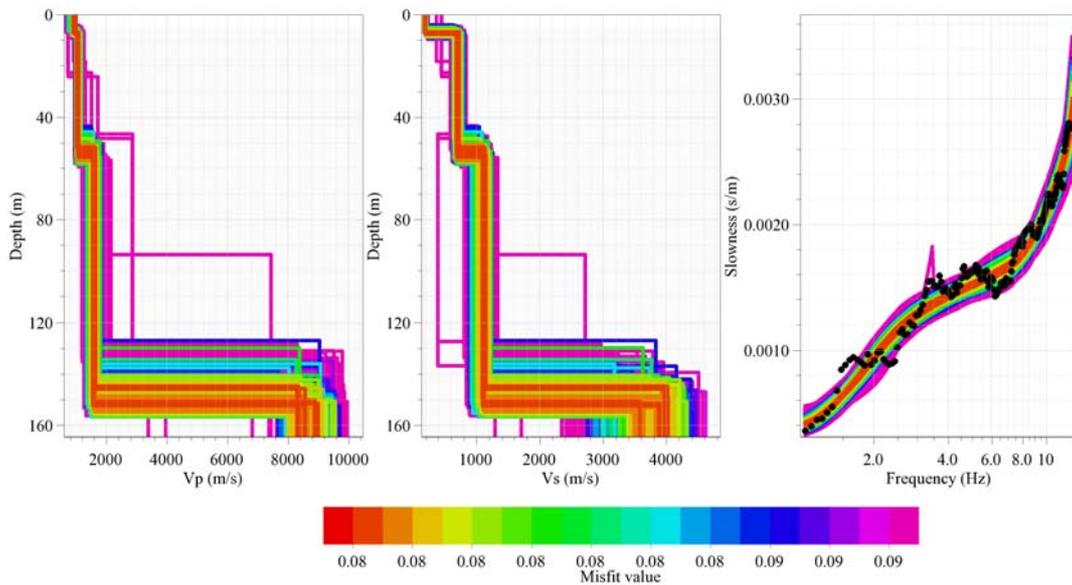


Abbildung 6. Gemessene Dispersionskurven und daraus invertierte Modelle bei der Station SBAE. Die roten Bereiche zeigen die am besten passenden Modelle, wenn nur mit Hilfe der Dispersionskurve invertiert wird. Es wurde ein Modell mit vier Schichten angenommen. Für diese Analyse wurde die Software CAP 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 Anpassung an die gemessenen Kurven ist in Abbildung 7 gezeigt. Dabei werden die gemessene Phasengeschwindigkeit und die beiden Flanken der H/V Kurve verwendet. Modelle werden gesucht unter folgenden Bedingungen:

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

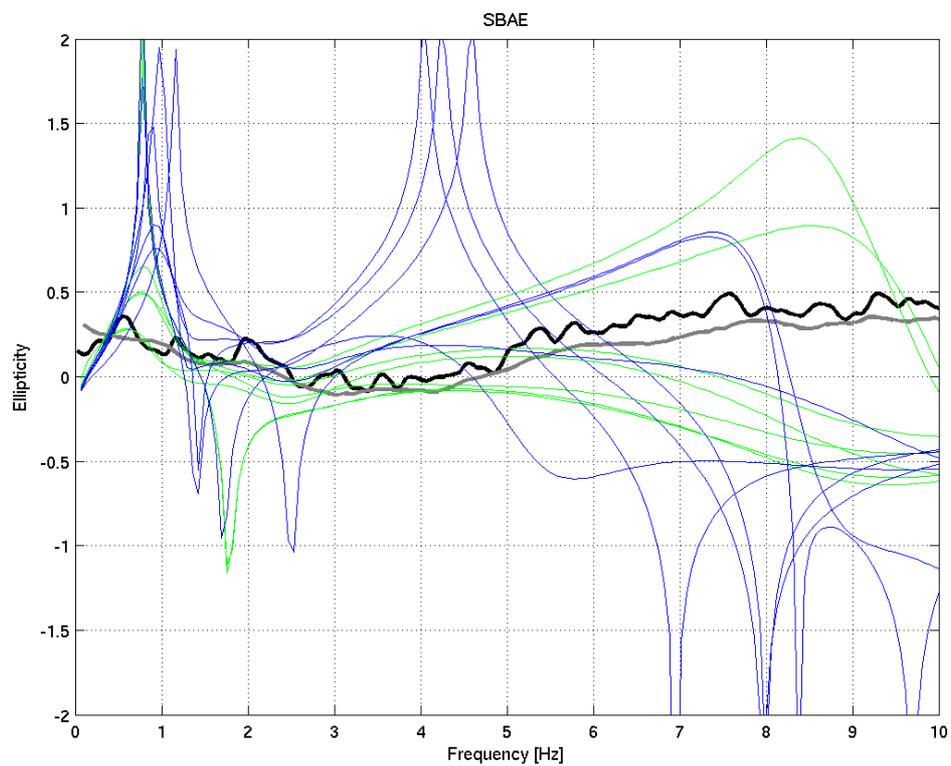
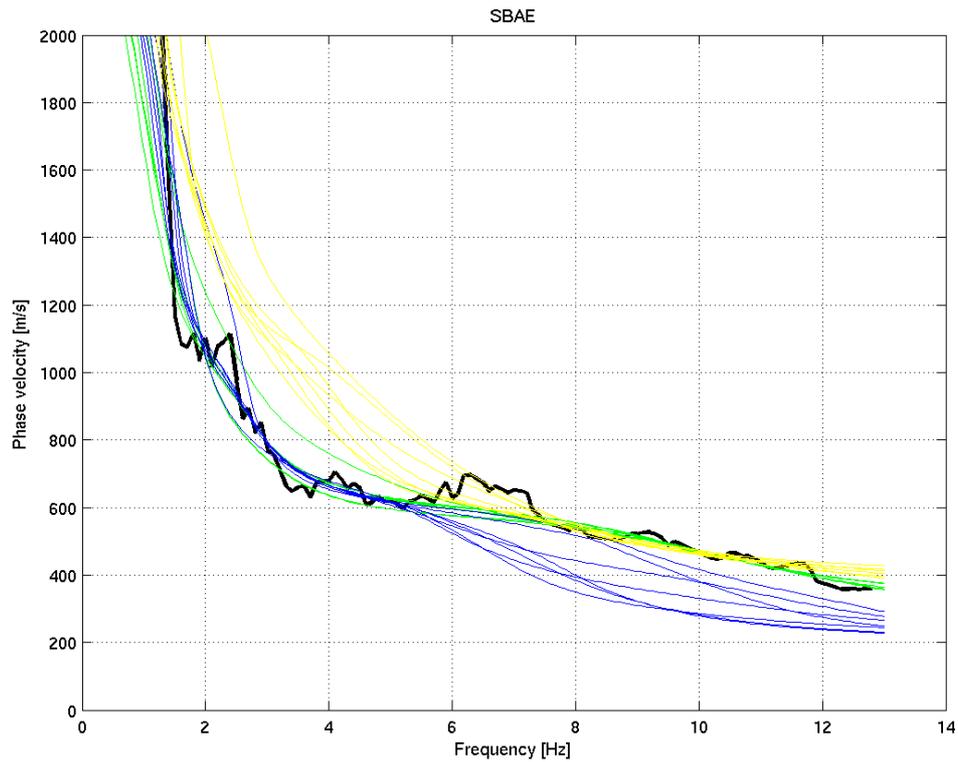


Abbildung 7. Anpassung der Phasengeschwindigkeit (oben) an die gemessenen Werte und der Elliptizität (unten) der Rayleighwellen an das H/V Spektrum am Standort SBAE.

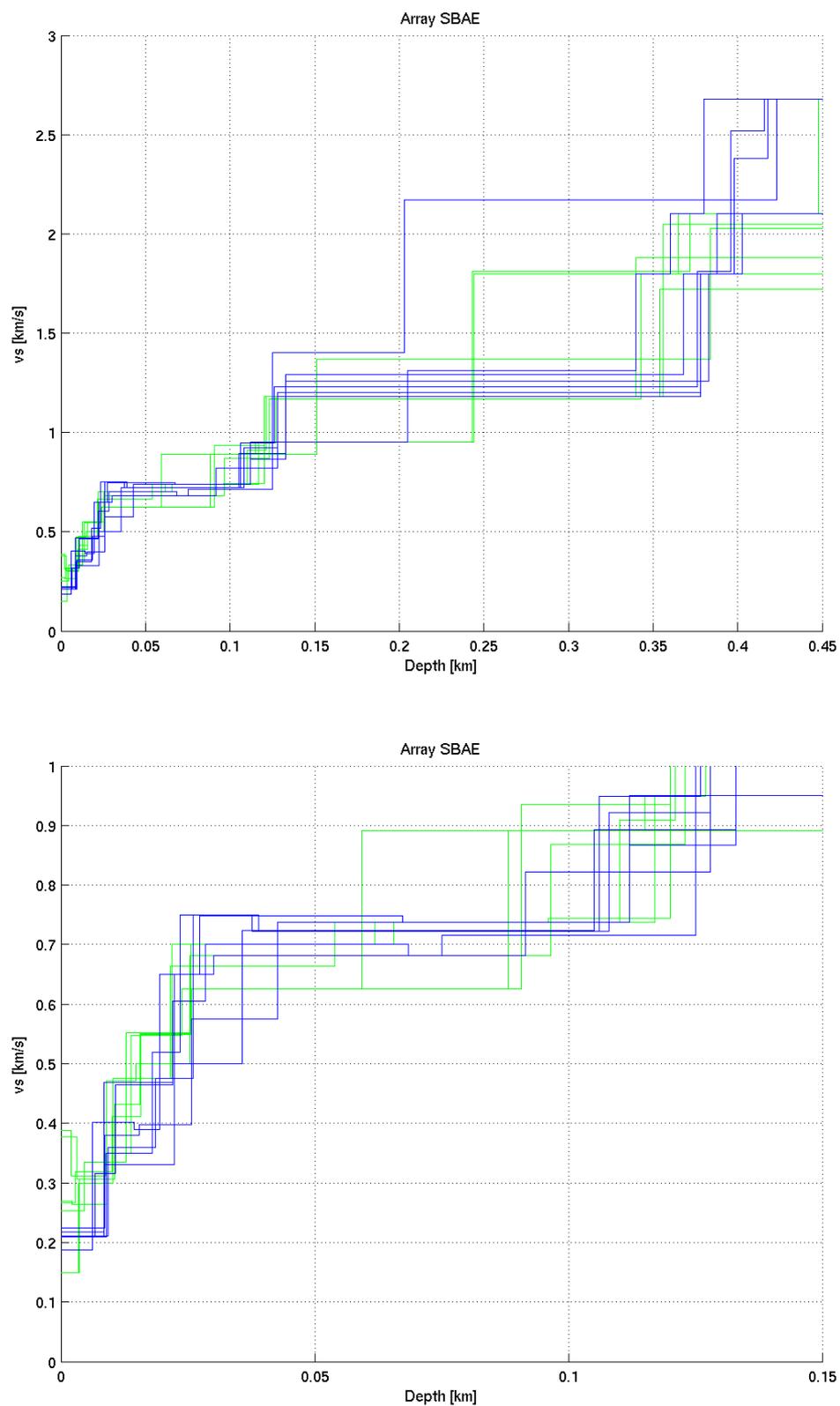


Abbildung 8. Invertierte S-Wellenprofile. Die blauen Strukturen entsprechen den bevorzugten Modellen.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Inversion gezeigt. Die bevorzugten Modelle sind in blauer Farbe gegeben. Sie wurden unter Annahme eines Modensprungs in der Dispersionskurve erhalten. Diese Modelle werden bevorzugt, weil bei Erdbebenregistrierungen an der Station SBAE die Verstärkungen im Frequenzbereich 5-10Hz grosse Werte annehmen können.

Die Schicht an der Oberfläche kann gut aufgelöst werden. Diese Schicht besteht aus quartären Sedimenten mit einer Mächtigkeit von ca. 8-10m. Aufgrund der lockeren Lagerung und der Wassersättigung muss im obersten Teil mit geringen S-Wellengeschwindigkeiten gerechnet werden (190-230m/s). Darunter liegen verwitterte Melettaschichten mit einer Mächtigkeit von ca. 20m. Die S-Wellengeschwindigkeit nimmt mit der Tiefe zu, von ca. 300-400m/s in ca. 15m Tiefe auf 550-650m/s in ca. 30m Tiefe. Die unverwitterte Melettaschicht wird im Tiefenbereich von ca. 25 bis 30m erreicht (Melettaschicht, Härteklasse 1). Die mittlere S-Wellengeschwindigkeit weist in den ersten 70-80 Metern der unverwitterten Melettaschichten Werte im Bereich 650-750m/s auf. Mit zunehmender Tiefe ab ca. 100m nimmt die Geschwindigkeit zu, und erreicht dann Werte von über 1100 m/s. Die Geschwindigkeiten in grösseren Tiefen können aufgrund fehlender Phasengeschwindigkeiten nicht aufgelöst werden. 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

Strongmotion Station SBAE

Koordinaten: 612939 / 269322
 Höhe über Meer: 255m
 Grundwasserstand: 253.19m. ü. M

----- Bohrung BS – 7.C.15 -----

Quartär

Pleisto.

bis 0.30	Quartär / Humus
0.30 bis 1.15	Quartär / erdiger Kies
1.15 bis 4.35	Niederterrassenschotter / feiner, sandiger Kies
4.35 bis 4.71	Niederterrassenschotter / grober Kies
4.71 bis 4.95	Niederterrassenschotter / sehr grober Kies
4.95 bis 6.05	Niederterrassenschotter / grober Kies
6.05 bis 10.70	Niederterrassenschotter / feiner, sandiger Kies
10.70 bis 12.00	Niederterrassenschotter / mittelgrober und sandiger Kies
12.00 bis 13.82	Niederterrassenschotter / grober Kies

Tertiär

Oligo.

13.82 Meletta Schichten /
Letten

----- Bohrtiefe -----

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

Kreide

nicht vorhanden

Jura

Malm

Dogger

Top Lias

856.00 Wechsellagerung 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.

1240.00 fein- bis grobkörniger Sandstein
(Lage Top gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)

Appendix B: F-K Analyse für die Arraykonfigurationen

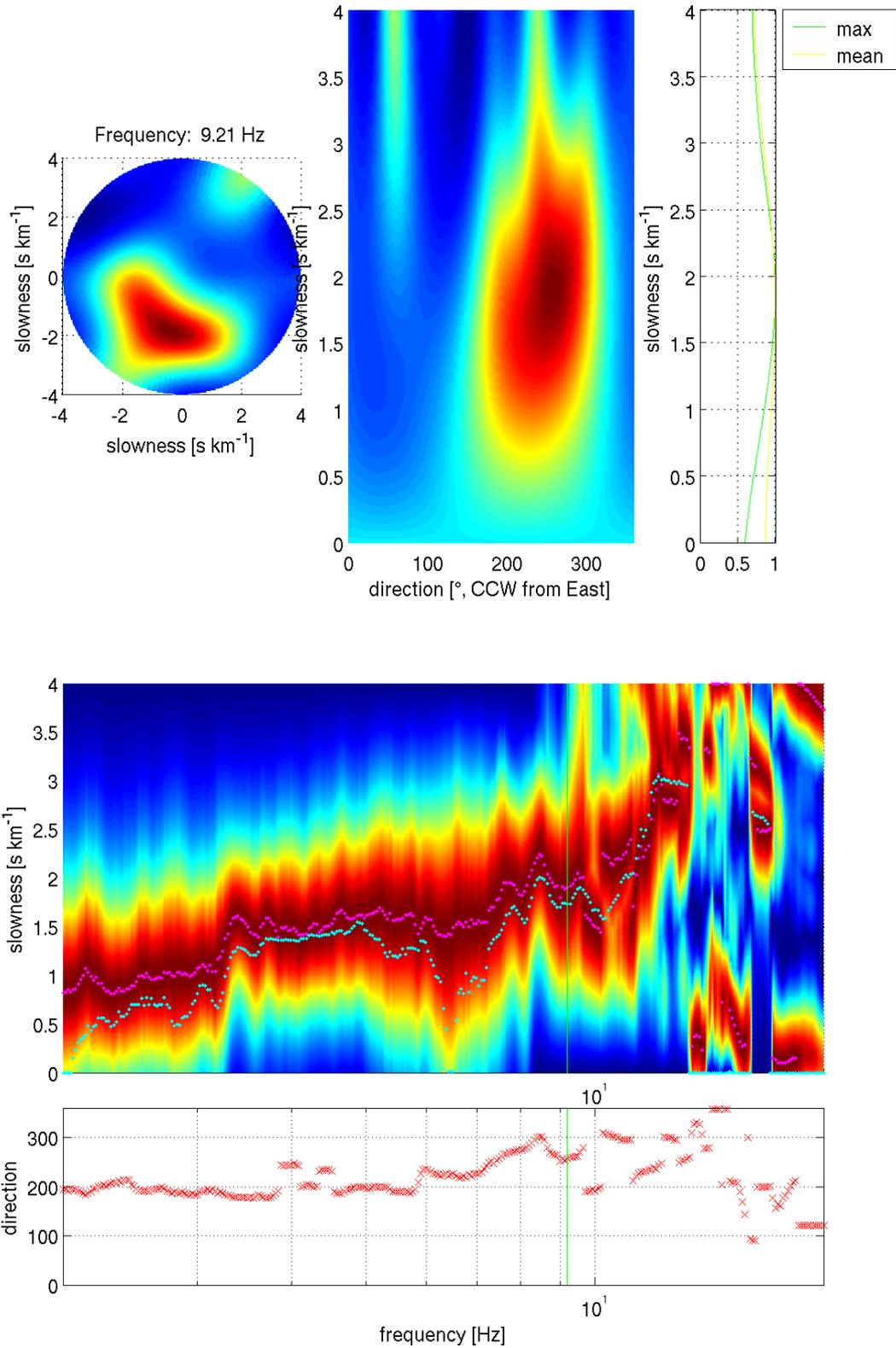


Figure B.1. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 20 m Radius.

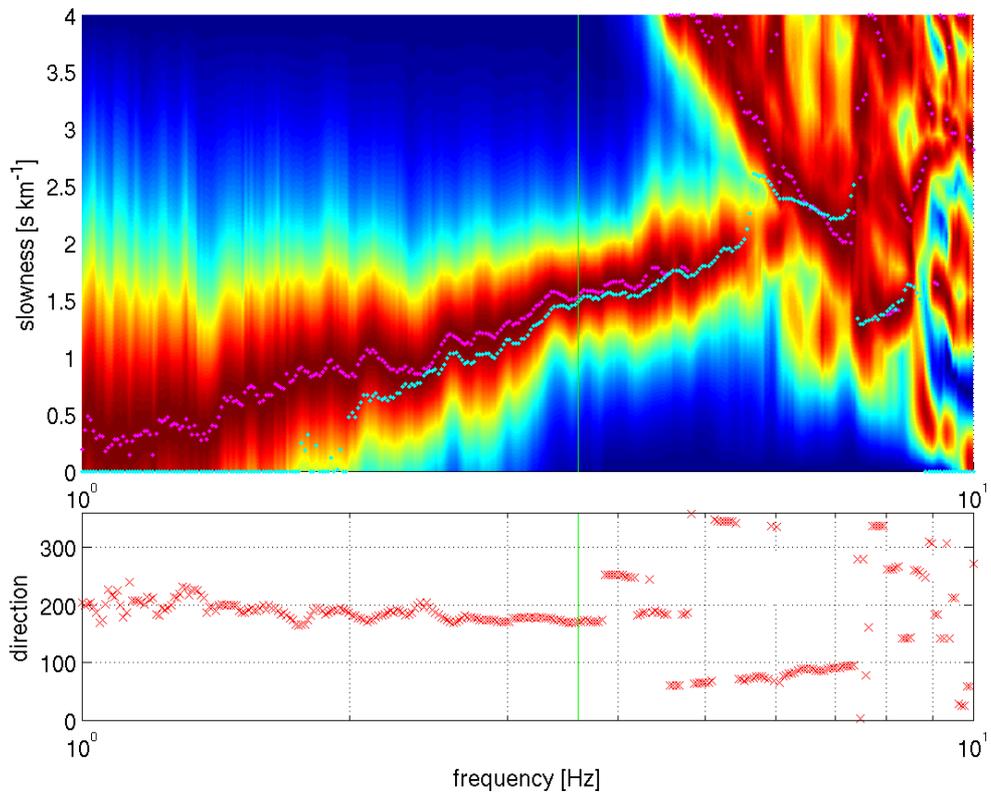
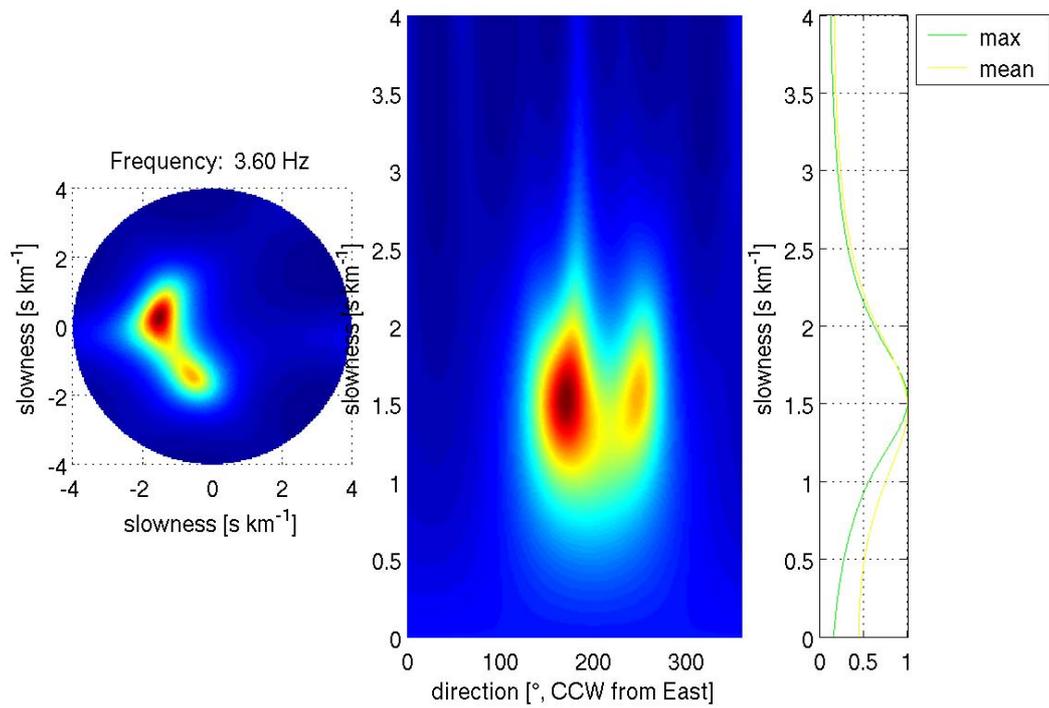


Figure B.2. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 50 m Radius.

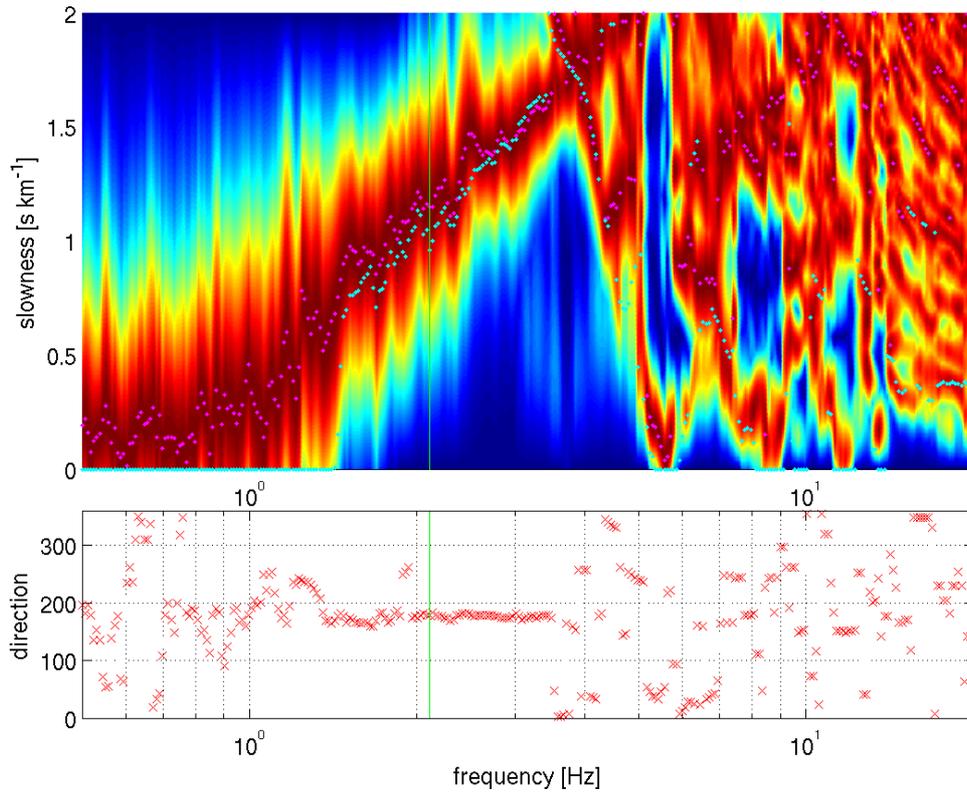
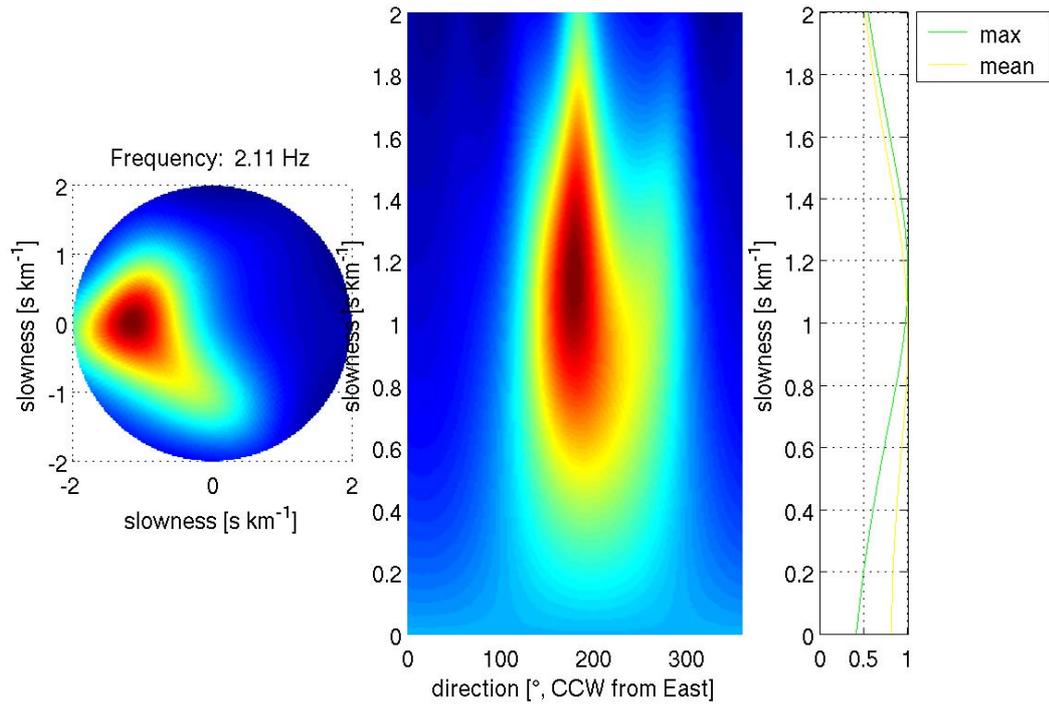


Figure B.3. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 100 m Radius.

Appendix C: Mögliche Strukturen am Standort Lange Erlen (SBAE)

Die hier gegebenen Strukturen entsprechen blauen Strukturen in Abbildung 8.

Struktur Nr.13

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)
0.66744E-02	0.18000E+01	0.62532E+00	0.79960E-02	0.21018E+00	0.47577E-01
0.40007E-02	0.19000E+01	0.70494E+00	0.70928E-02	0.31620E+00	0.31625E-01
0.11294E-01	0.19000E+01	0.17993E+01	0.27789E-02	0.46480E+00	0.21514E-01
0.13752E-01	0.20000E+01	0.19239E+01	0.25989E-02	0.49983E+00	0.20007E-01
0.68923E-01	0.22000E+01	0.19705E+01	0.25375E-02	0.72389E+00	0.13814E-01
0.28633E-01	0.22000E+01	0.21863E+01	0.22869E-02	0.89306E+00	0.11198E-01
0.23466E+00	0.23000E+01	0.23750E+01	0.21052E-02	0.12875E+01	0.77670E-02
0.20000E-01	0.23000E+01	0.28376E+01	0.10572E-02	0.18035E+01	0.55447E-02
	0.23000E+01	0.46495E+01	0.64523E-03	0.21007E+01	0.47603E-02

Struktur Nr.21

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)
0.85046E-02	0.18000E+01	0.12977E+01	0.38529E-02	0.21750E+00	0.45977E-01
0.13796E-01	0.19000E+01	0.15443E+01	0.32377E-02	0.33095E+00	0.30216E-01
0.50099E-02	0.19000E+01	0.15757E+01	0.31732E-02	0.64974E+00	0.15391E-01
0.40000E-01	0.20000E+01	0.16626E+01	0.30073E-02	0.74829E+00	0.13364E-01
0.44958E-01	0.22000E+01	0.28038E+01	0.17833E-02	0.73751E+00	0.13559E-01
0.20401E-01	0.22000E+01	0.28127E+01	0.17776E-02	0.86651E+00	0.11541E-01
0.25000E+00	0.23000E+01	0.28182E+01	0.17742E-02	0.12594E+01	0.79405E-02
0.20000E-01	0.23000E+01	0.28454E+01	0.10543E-02	0.18003E+01	0.55547E-02
	0.23000E+01	0.35052E+01	0.85588E-03	0.21001E+01	0.47618E-02

Struktur Nr.23

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)
0.85002E-02	0.18000E+01	0.60004E+00	0.83327E-02	0.21024E+00	0.47564E-01
0.13526E-01	0.19000E+01	0.16209E+01	0.30847E-02	0.46853E+00	0.21344E-01
0.65046E-02	0.19000E+01	0.17587E+01	0.28430E-02	0.60532E+00	0.16520E-01
0.39987E-01	0.20000E+01	0.17964E+01	0.27834E-02	0.69997E+00	0.14286E-01
0.23121E-01	0.22000E+01	0.24169E+01	0.20687E-02	0.68129E+00	0.14678E-01
0.36385E-01	0.22000E+01	0.30243E+01	0.16533E-02	0.82208E+00	0.12164E-01
0.24998E+00	0.23000E+01	0.30517E+01	0.16384E-02	0.12017E+01	0.83212E-02
0.20000E-01	0.23000E+01	0.30972E+01	0.96861E-03	0.18001E+01	0.55552E-02
	0.23000E+01	0.35021E+01	0.85662E-03	0.21001E+01	0.47618E-02