

## SBIF: Bestimmung eines Wellengeschwindigkeitsprofils

Standort: Birsfelden Friedhof, Basel Landschaft

Seismische Station: SBIF

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/SBIF

Mächtigkeit (m)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	Kommentar / Geologie
Ca.3	< 1350	180-300	Deckschicht aus ca. 3m quartären Sedimenten
Ca.5	< 1350	300-400	Lockere Niederterrassenschotter
Ca.10	> 1350	400-500	Niederterrassenschotter, z.T. verkittet und mit Nagelfluhbildung, im Grundwasser
5-10	1500-2500	500-650	Tüllingerschichten verwittert durch Wassereinfluss
50-70	2200-2500	650-800	Tüllingerschichten (Härteklasse 3)
100-150	2200-2500	800-1000	Elsässermolasse (Härteklasse 2)
			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 SBIF. Aufgrund der gemessenen Geschwindigkeiten entspricht der Standort einer Bodenklasse B, C oder E nach SIA261.

### Geologie

Die obersten Schichten bestehen aus den Niederterrassenschottern des Rheins. Sie besitzen hier eine Mächtigkeit zwischen 15 bis 20 Metern. Die Niederterrassenschotter weisen wechselnde Schichtungen mit unterschiedlichen Korngrößen auf. Die Schotter können sandig oder sandfrei sein und besitzen Einschaltungen von Sandlinsen und Bändern. In diesem Gebiet befindet sich der Mündungsbereich der Birs in den Rhein. Hier sind die Schotter vielerorts zu Nagelfluhbänken verkittet. Im unteren Teil, in dem die Schotter zum geologischen Fels übergehen, nimmt der Lehmanteil zu und kann z.T. die Schotter ganz ersetzen. Ebenfalls dienen Niederterrassenschotter als Grundwasserspeicher. Der Grundwasserspiegel befindet sich hier auf einer Höhe von 248.00 m ü.M..

Unter den Schottern befinden sich die Tüllinger Schichten. Es sind dies rund 100 Meter mächtige, limnische Ablagerungen, welche im unteren Abschnitt aus Mergeln mit Gips-Einlagerungen bestehen. Nach oben gehen sie in dünnbankige, teils dolomitische, teils kreidige Süßwasserkalke über. Die Härteklassierung der Tüllinger Schichten beträgt 3. 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. 248 m ü.M., in 8 m Tiefe.

Referenz: Bohrkataster BS /BL

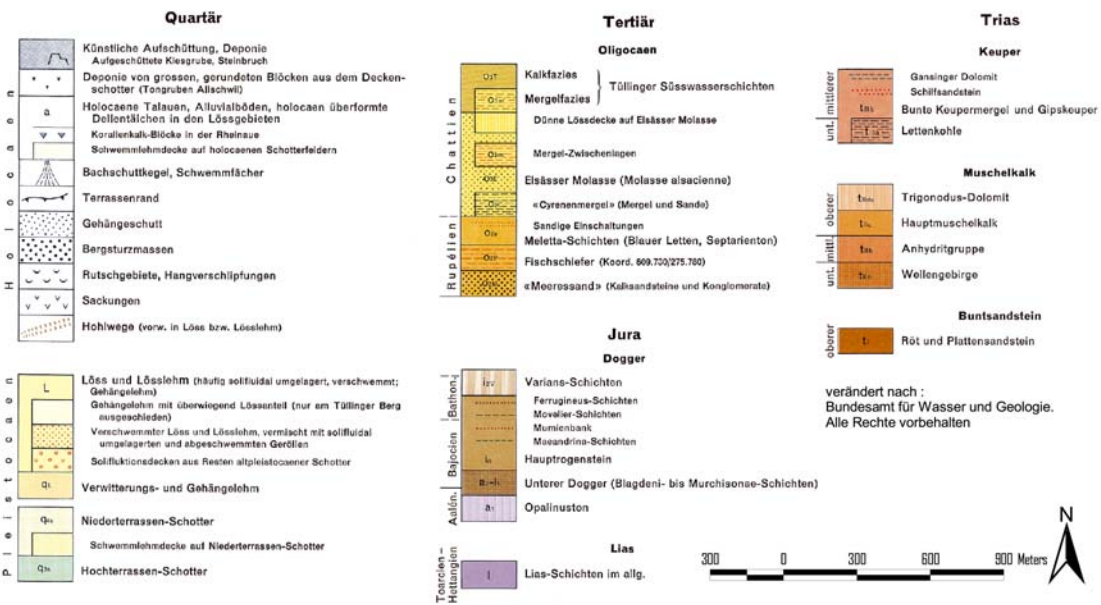
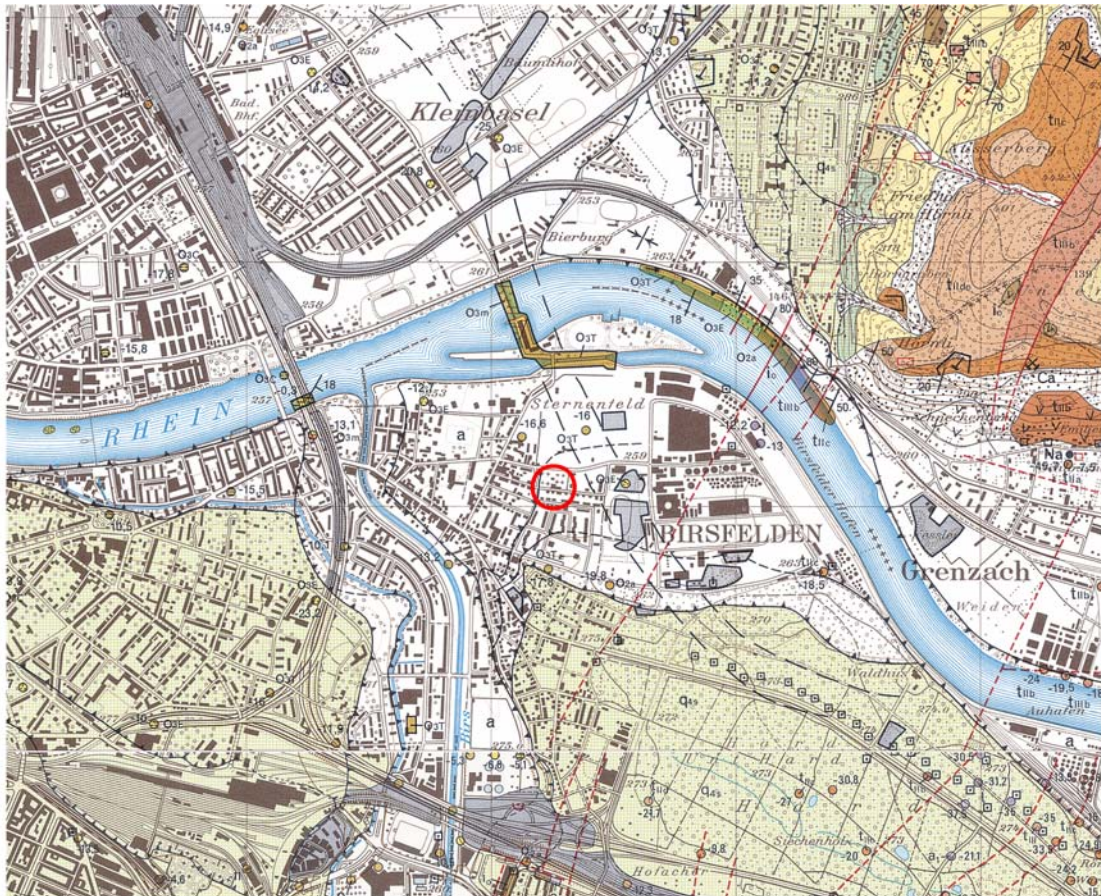


Abbildung 1. Oberflächengeologie beim Standort SBIF.

## Messungen der Eigenfrequenz der Lockersediment-Ablagerungen

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



*Abbildung 2. Angewandte Arraygeometrien bei der Station SBIF (rote Punkte). Die Lage der Starkbebenstation SBIF ist als grünes Dreieck eingezeichnet.*

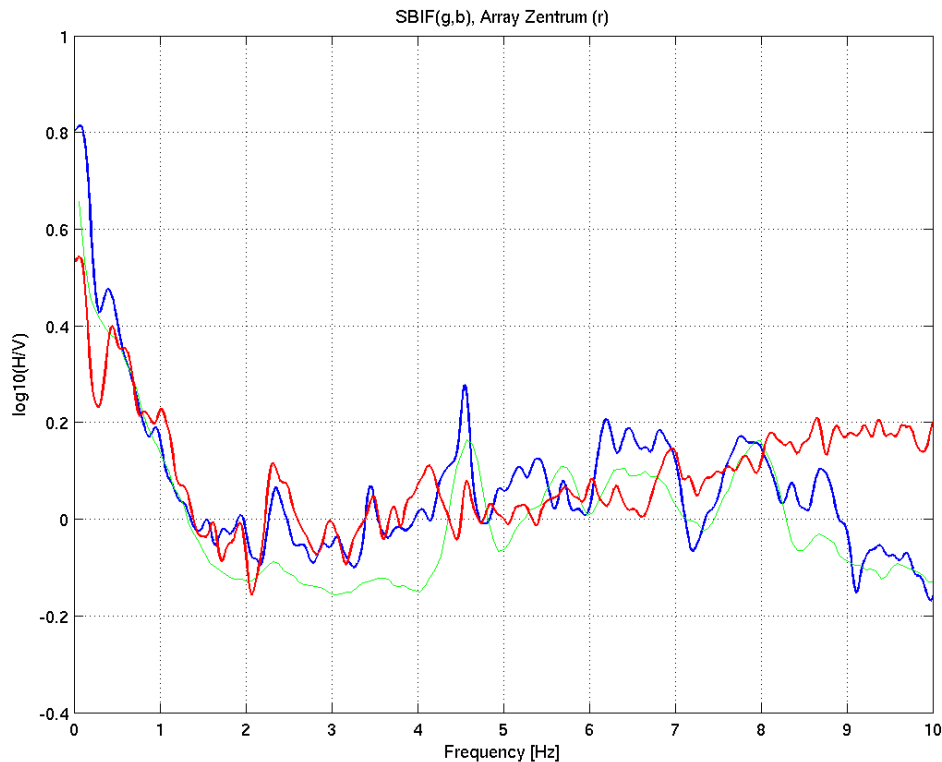
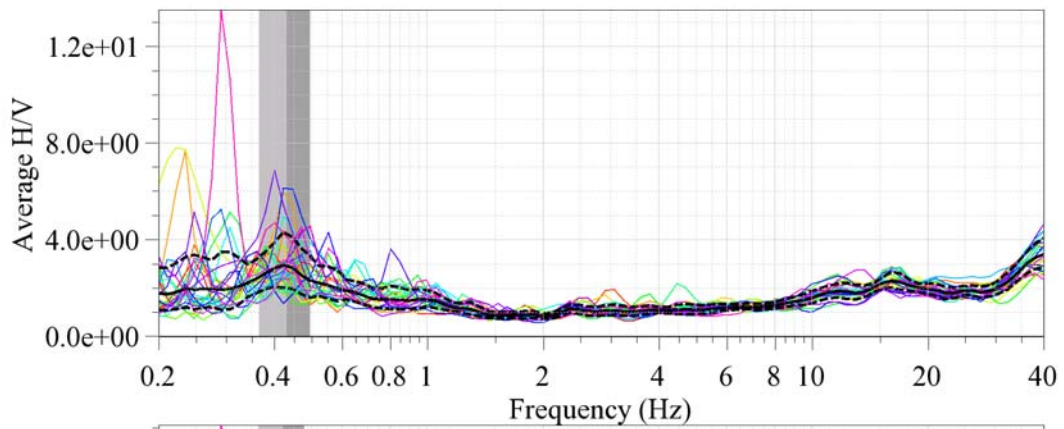


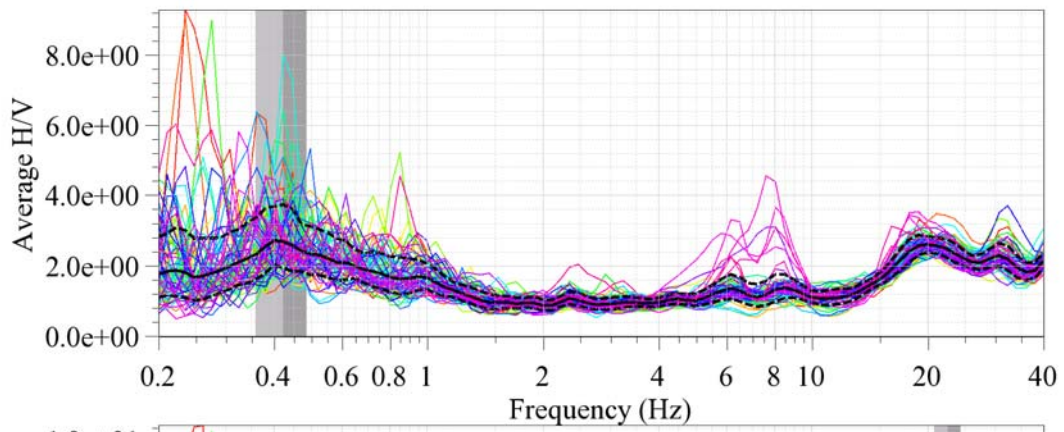
Abbildung 3. Resultat der H/V Polarisationsanalyse bei der Station SBIF (blau: klassische Methode; grün: Frequenz-Zeit Analyse), und im Arrayzentrum (rot: klassische Methode).

Die H/V Kurven im Bereich der Fundamentalfrequenz (0.4-0.5 Hz) sind vergleichbar. Die H/V Kurven bei der Station SBIF weisen ein zweites Maximum bei 6-8 Hz auf. Dieses zweite Maximum deutet darauf hin, dass zwischen den oberflächennahen Lockersedimenten und den tiefer liegenden Lockersedimenten ein grösserer S-Wellen Geschwindigkeitskontrast vorliegt. Die Unterschiede der H/V Kurven im Bereich 6-10 Hz geben einen Hinweis darauf, dass die oberflächennahen Schichten eine variable Schichtung/Mächtigkeit aufweisen. Vermutlich handelt es sich dabei um Unterschiede im Nagelfluhanteil der Niederterrassenschotter und der verwitterten Tüllingschicht. Die H/V Analyse an den verschiedenen Stationen im Array zeigt (Abbildung 4), dass die Fundamentalfrequenz innerhalb des Arrays konstant bei 0.4-0.45 Hz liegt, mit einer ebenfalls konstanten Amplitude des Peaks von 2-3. Die tiefere Struktur innerhalb des Arrays kann also als homogen bezeichnet werden und somit als geeignet für eine zuverlässige Dispersionsanalyse.

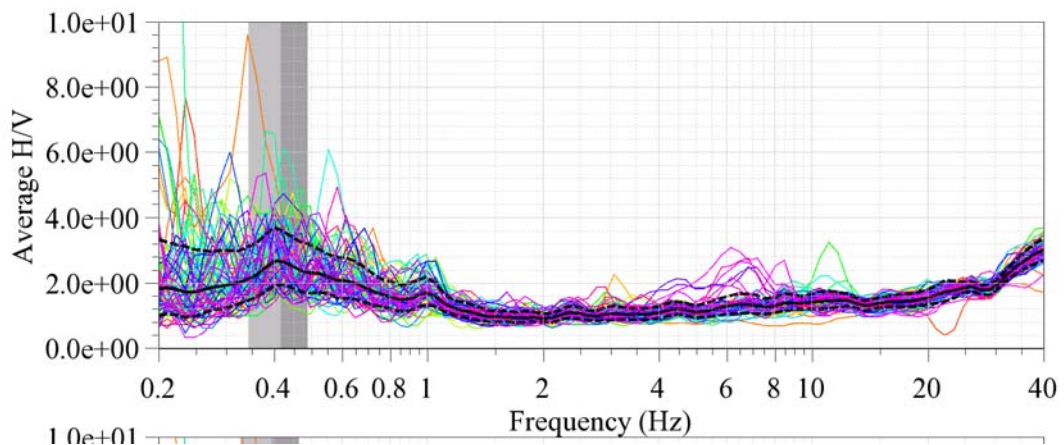
Array-Zentrum



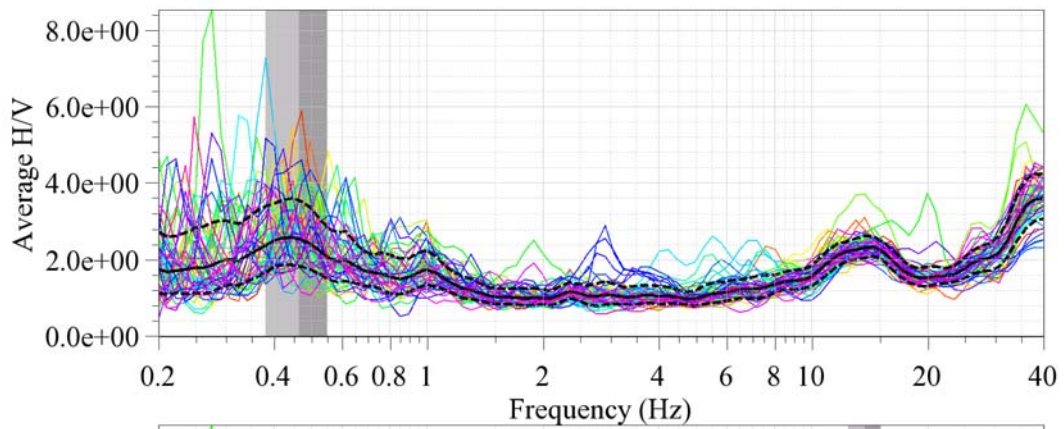
Ring3 Station Nord 0°



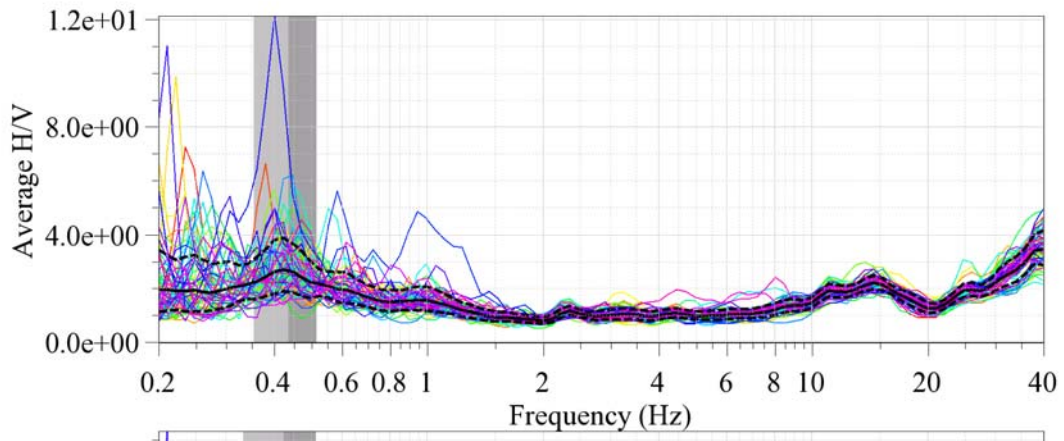
Ring3 Station North 60°



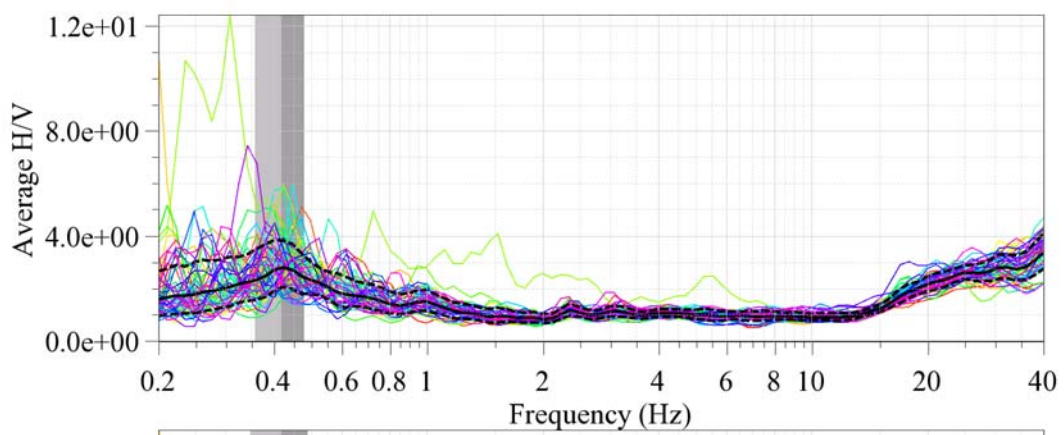
Ring3 Station Nord 120°



Ring3 Station Nord 180°



Ring3 Station Nord 240°



## Ring3 Station Nord 300°

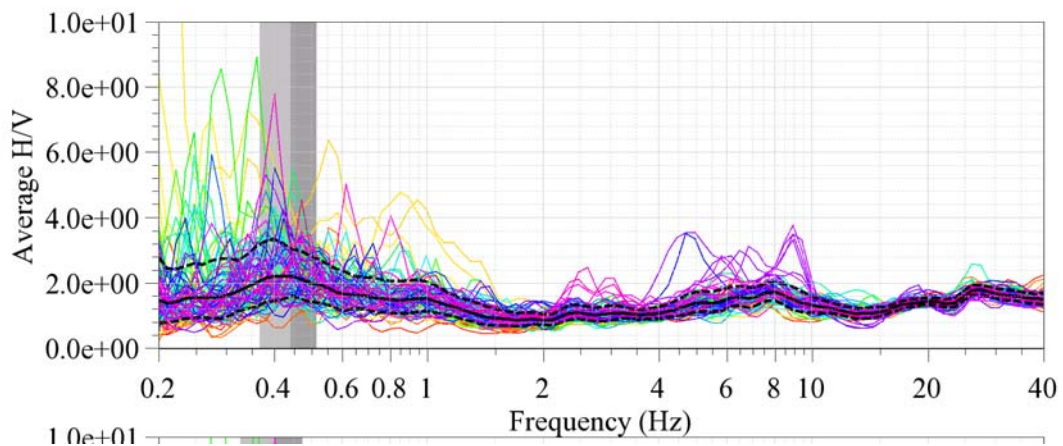


Abbildung 4. Resultat der H/V Polarisationsanalyse der Stationen im Array bei Station SBIF.

### 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 ist in Appendix B gegeben. Es zeigt sich, dass die Dispersionskurve nur bis ca. 2 Hz bestimmt werden kann. Wenn die gemessene Dispersionskurve alleine invertiert wird, ergibt sich als Lösung das Modell in Abbildung 6. Die alleinige Inversion der Dispersionskurven erlaubt keine Bestimmung der Mächtigkeit der Lockersedimente. Dies wird durch eine kombinierte Inversion der Phasengeschwindigkeit und der H/V Kurve verbessert.



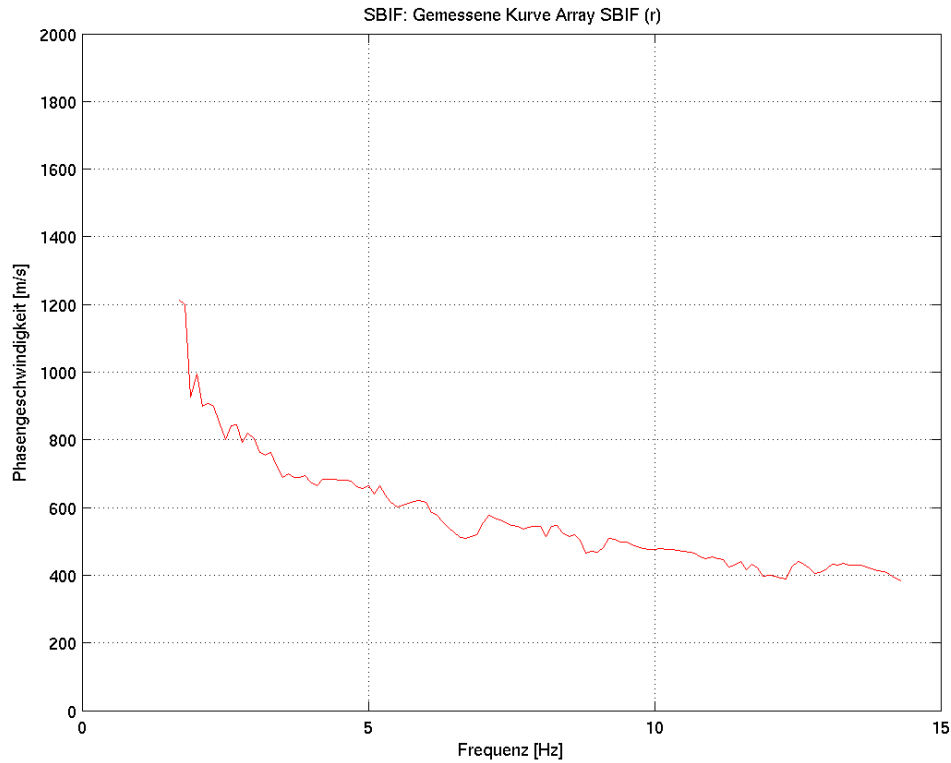


Abbildung 5. Gemessene Dispersionskurve. Es wurden hier nur die vertikalen Komponenten des Arrays analysiert.

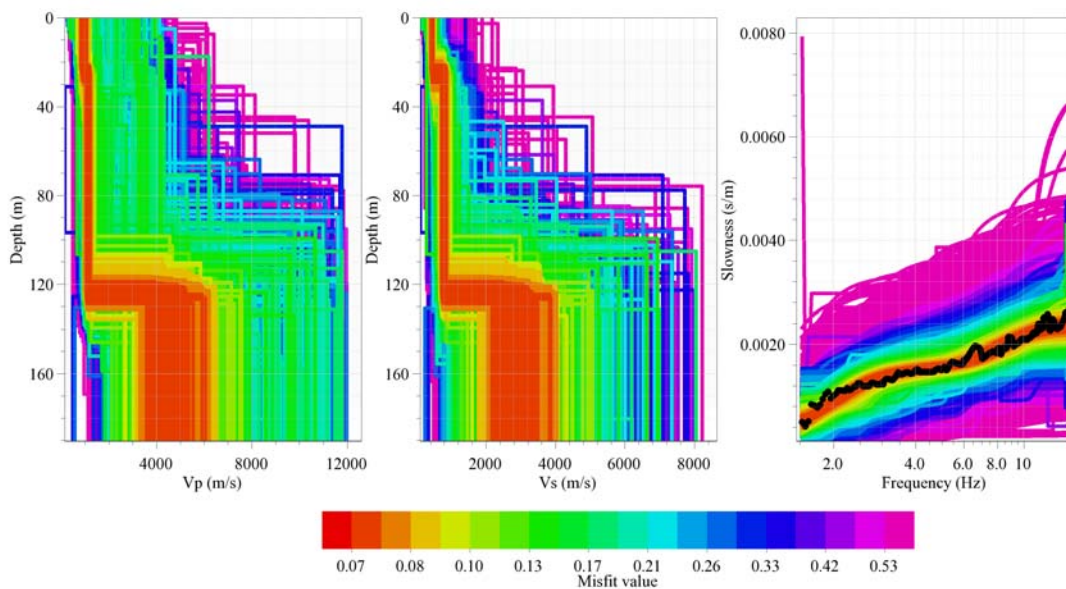


Abbildung 6. Gemessene Dispersionskurven und daraus invertierte Modelle bei der Station SBIF. Die roten Bereiche zeigen die am besten passenden Modelle, wenn nur mit Hilfe der Dispersionskurve invertiert wird. Es wurde ein Modell mit vier Schichten angenommen. Für diese Analyse wurde die Software CAP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

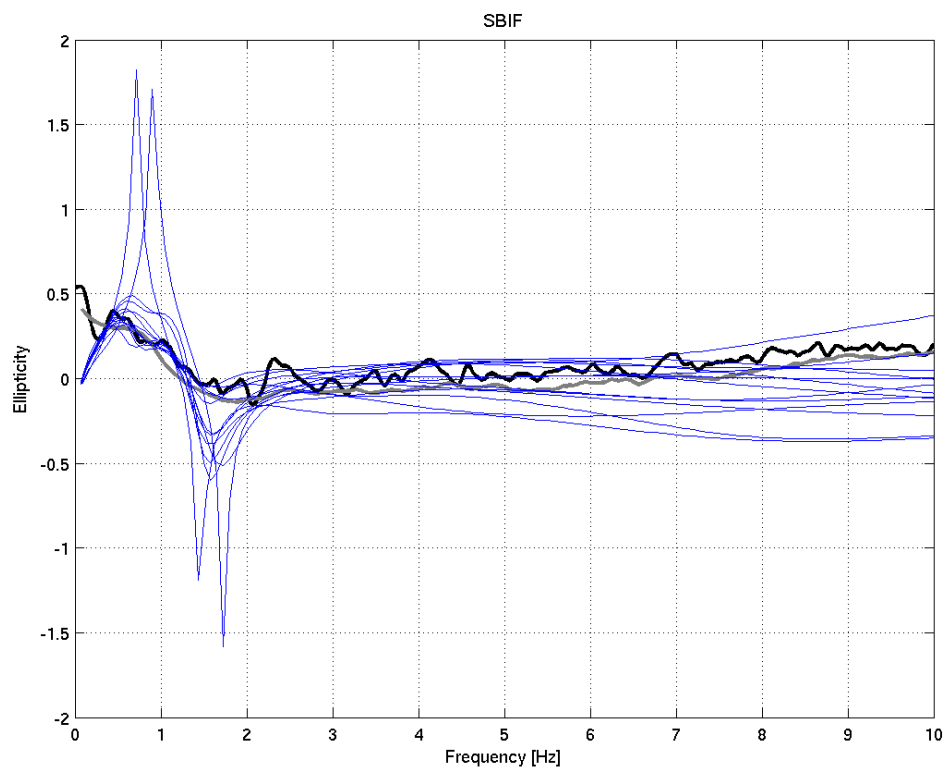
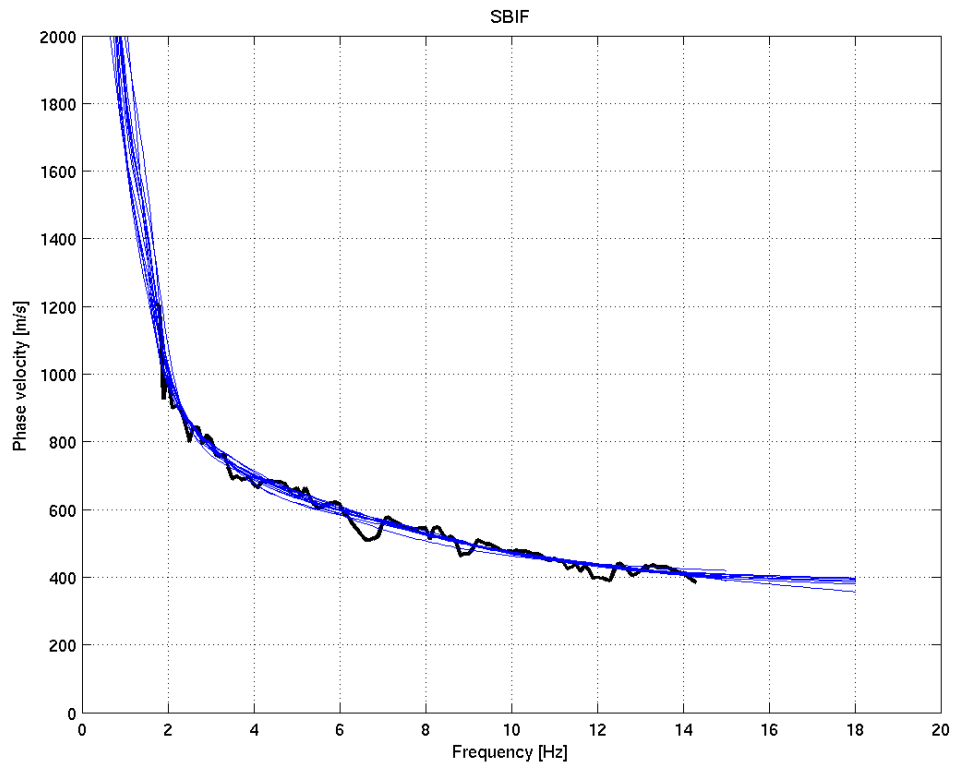


Abbildung 7. Anpassung der Phasengeschwindigkeit (oben) an die gemessenen Werte und der Elliptizität (unten) der Rayleighwellen an das H/V Spektrum am Standort SBIF.

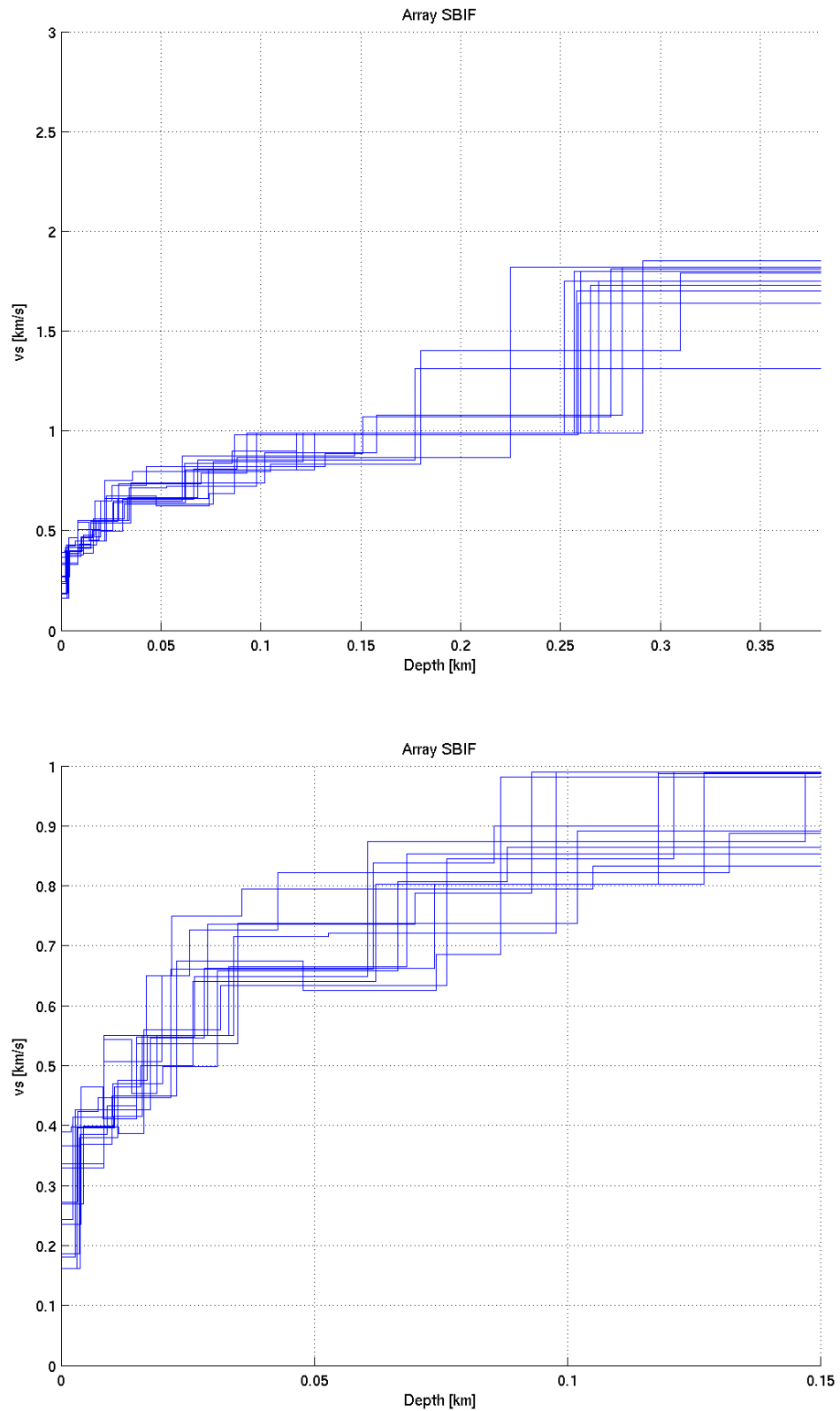


Abbildung 8. Invertierte S-Wellenprofile. Die blauen Strukturen entsprechen den gefundenen Modellen.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Inversion gezeigt. Die Schicht an der Oberfläche kann nicht gut aufgelöst werden. Diese Schicht besteht aus quartären Sedimenten mit einer Mächtigkeit von ca. 3m. Darunter folgt eine ca. 15m mächtige Schicht aus Niederterrassenschottern. Diese Schicht weist in den oberen 5m feinen, sauberen Rheinkies auf, und in den folgenden 10m Nagelfluhbänke und Verkittungen. Aufgrund der lockeren Lagerung muss im obersten Teil mit geringen S-Wellengeschwindigkeiten gerechnet werden (180-300m/s). In den ersten ca. 8m liegt die mittlere S-Wellengeschwindigkeit im Bereich 300-400 m/s. Die Nagelfluhbildung zeigt sich in den S-Wellengeschwindigkeitswerten von 400-500m/s für die folgende Schicht bis ca. 20m Tiefe.

Darunter liegt die verwitterte Tüllingerschicht mit einer Mächtigkeit von 5-10m und S-Wellengeschwindigkeiten von 500-650m/s. Die unverwitterte Tüllingerschicht wird im Tiefenbereich von ca. 25 bis 30m erreicht (Tüllingerschicht, Härteklasse 3). Die mittlere S-Wellengeschwindigkeit weist in den ersten 50-70 Metern der unverwitterten Tüllingerschichten Werte im Bereich 650-800m/s auf. Mit zunehmender Tiefe ab ca. 80-100m nimmt die Geschwindigkeit zu und erreicht Werte von 800 bis 1000 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 SBIF

Koordinaten: 614257 / 267087  
 Höhe über Meer: 256m  
 Grundwasserstand: 248m. ü. M

----- Bohrung BL-17.N.30 -----

## Quartär

Pleisto.	0.00	bis	0.70	Quartär / Humus
	0.70	bis	2.90	Quartär / Birkies mit Humus vermischt
	2.90	bis	3.40	Niederterrassenschotter / Rheinsand
	3.40	bis	4.00	Niederterrassenschotter / feiner, sauberer Rheinkies (Siebprobe)
	4.00	bis	8.00	Niederterrassenschotter /
	8.00	bis	8.70	Niederterrassenschotter / Nagelfluh
	8.70	bis	11.00	Niederterrassenschotter / Rheinkies (Siebprobe)
	11.00	bis	13.70	Niederterrassenschotter / Rheinkies mit Nagelfluh
	13.70	bis	14.30	Niederterrassenschotter / verkitteter Rheinsand
	14.30	bis	17.20	Niederterrassenschotter / Rheinkies mit Nagelfluh

## Tertiär

Oligo.	17.20	bis	17.40	Tüllinger Schichten / Molasse: bunter Mergel (nur verwitterte Oberfläche angebohrt)
--------	-------	-----	-------	--

----- Bohrtiefe -----

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

---

Kreide

nicht vorhanden

---

Jura

Malm

Dogger

Top Lias

1386.00 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.

1763.00 fein- bis grobkörniger Sandstein  
**(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)**



Appendix B: F-K Analyse für die Arraykonfigurationen

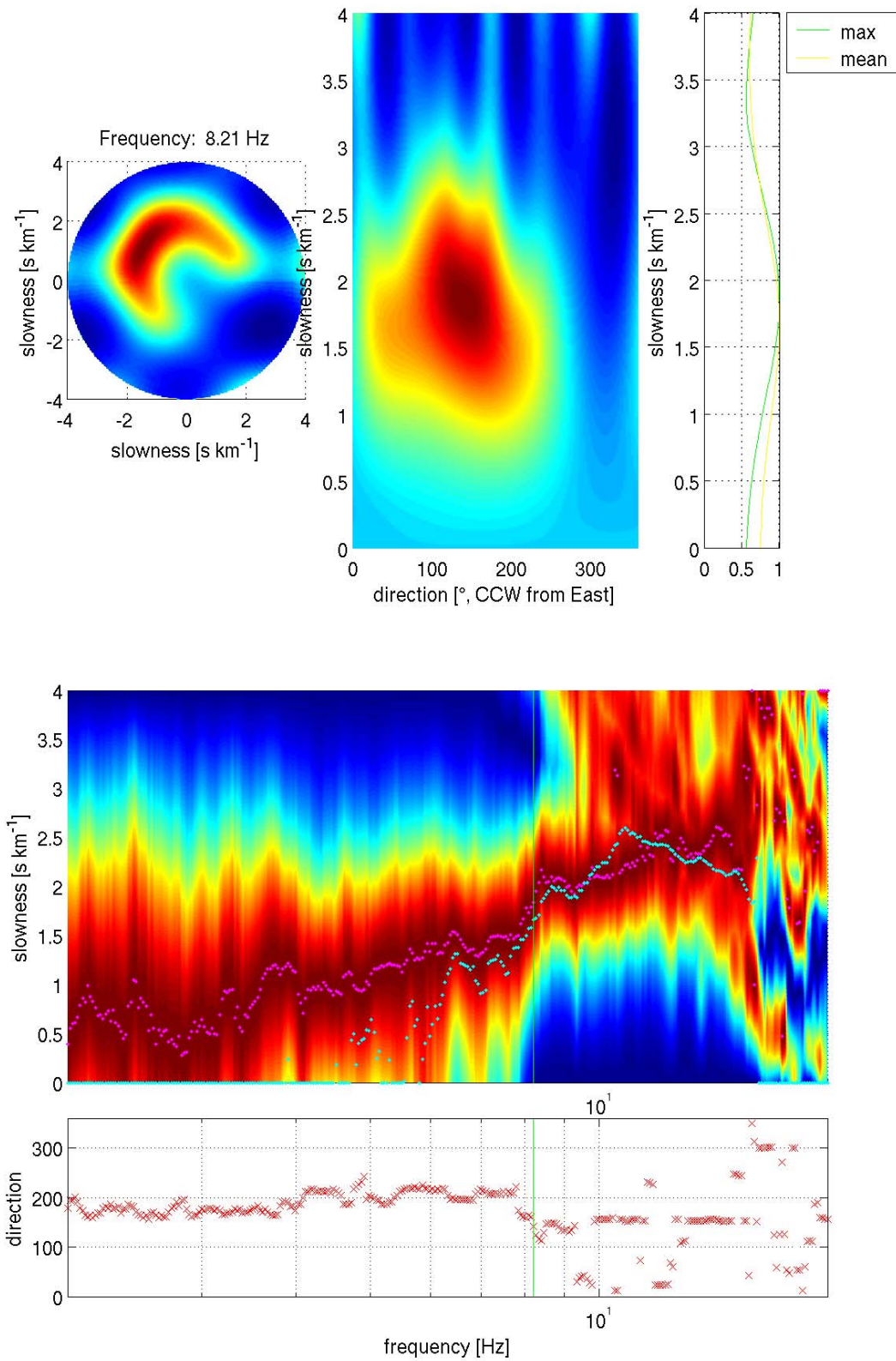


Figure B.1. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 20 m Radius.

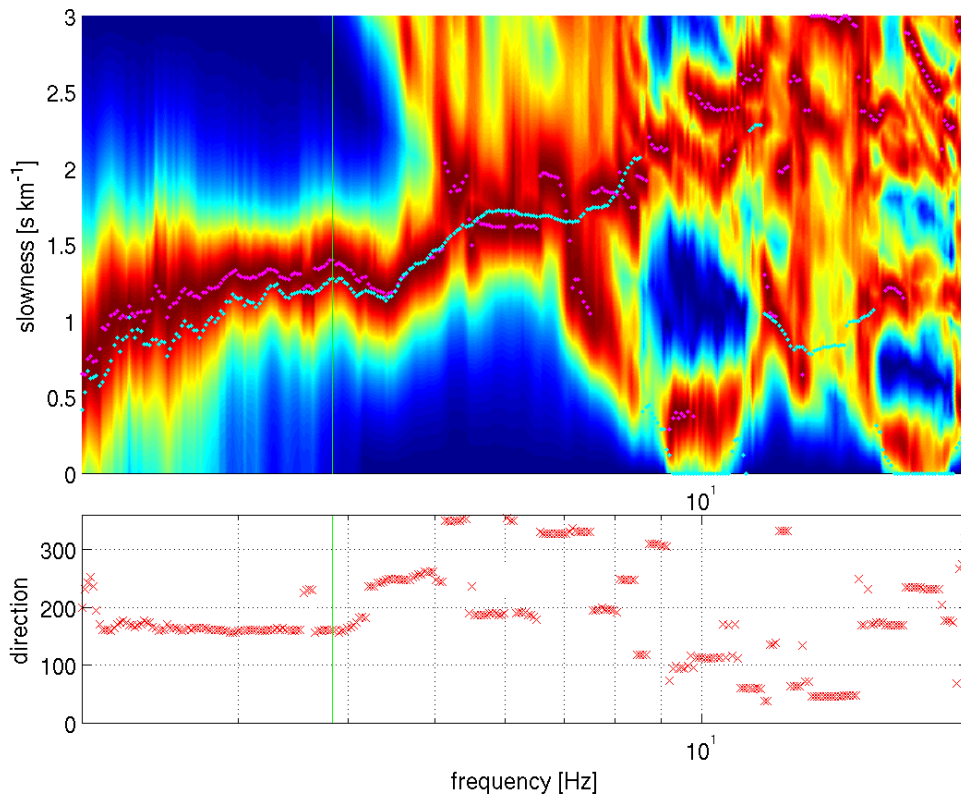
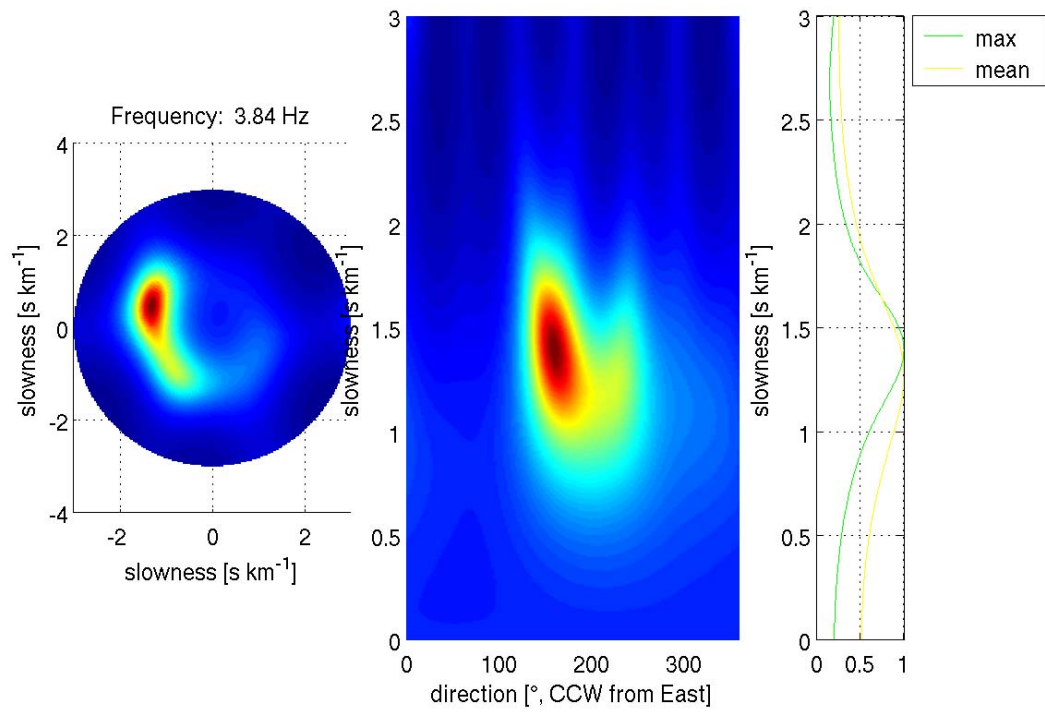


Figure B.2. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 50 m Radius.

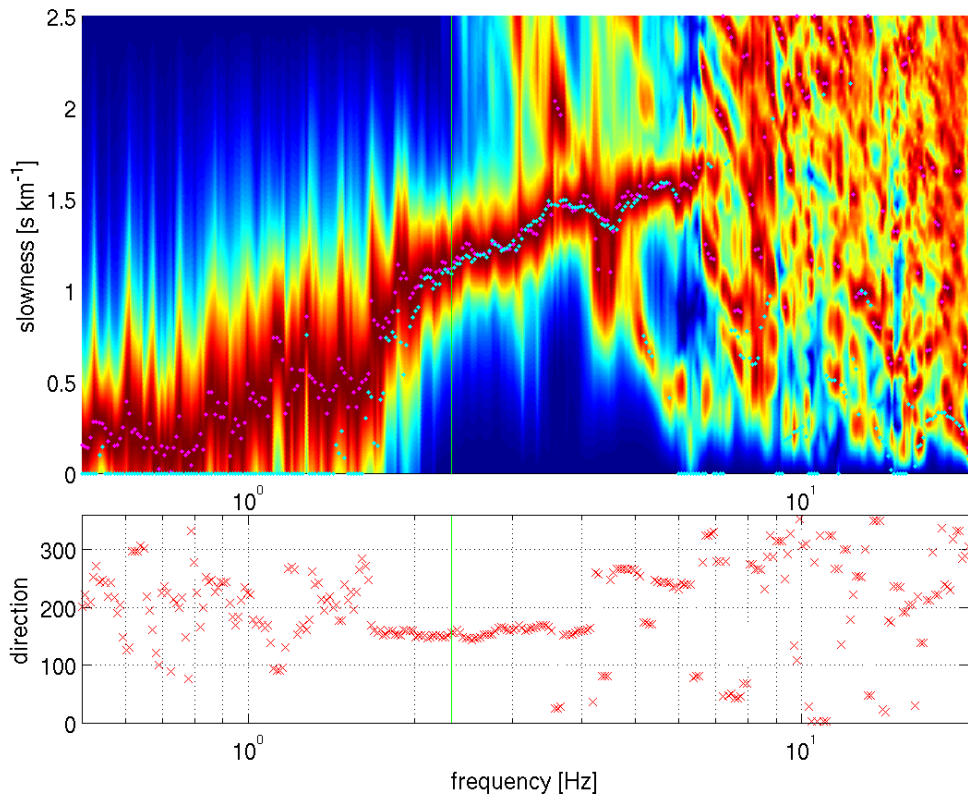
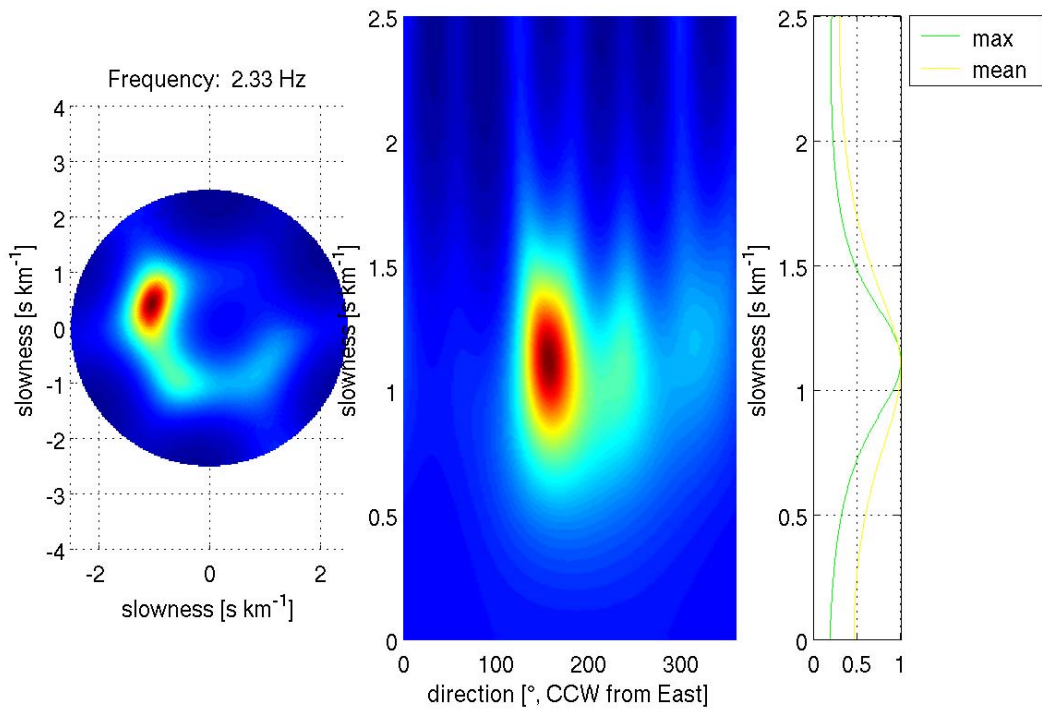


Figure B.3. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 100 m Radius.

## Appendix C: Mögliche Strukturen am Standort Birsfelden Friedhof

Die hier gegebenen Strukturen entsprechen blauen Strukturen in Abbildung 8.

### Struktur Nr.4

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	0.12993E+01	0.38482E-02	0.38969E+00	0.25661E-01
0.92508E-02	0.19000E+01	0.16998E+01	0.29415E-02	0.39737E+00	0.25166E-01
0.50124E-02	0.19000E+01	0.17999E+01	0.27780E-02	0.38749E+00	0.25807E-01
0.15224E-01	0.20000E+01	0.34998E+01	0.14286E-02	0.55998E+00	0.17858E-01
0.44715E-01	0.22000E+01	0.36996E+01	0.13515E-02	0.63437E+00	0.15764E-01
0.45219E-01	0.22000E+01	0.38960E+01	0.12834E-02	0.84531E+00	0.11830E-01
0.16966E+00	0.23000E+01	0.43998E+01	0.11364E-02	0.99000E+00	0.10101E-01
0.16862E+00	0.23000E+01	0.44998E+01	0.66670E-03	0.18500E+01	0.54054E-02
	0.23000E+01	0.46500E+01	0.64516E-03	0.20000E+01	0.50000E-02

### Struktur Nr.8

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)
0.23198E-02	0.18000E+01	0.10961E+01	0.45616E-02	0.24441E+00	0.40915E-01
0.79170E-02	0.19000E+01	0.14892E+01	0.33575E-02	0.41411E+00	0.24148E-01
0.97296E-02	0.19000E+01	0.17990E+01	0.27794E-02	0.46960E+00	0.21295E-01
0.10928E-01	0.20000E+01	0.29463E+01	0.16970E-02	0.49780E+00	0.20089E-01
0.35657E-01	0.22000E+01	0.31255E+01	0.15998E-02	0.65799E+00	0.15198E-01
0.21545E-01	0.22000E+01	0.37317E+01	0.13399E-02	0.80731E+00	0.12387E-01
0.13656E+00	0.23000E+01	0.40435E+01	0.12366E-02	0.86434E+00	0.11570E-01
0.18564E+00	0.23000E+01	0.40598E+01	0.73896E-03	0.18224E+01	0.54873E-02
0	0.23000E+01	0.43756E+01	0.68562E-03	0.24684E+01	0.40512E-02

### Struktur Nr.10

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)
0.38333E-02	0.18000E+01	0.11239E+01	0.44487E-02	0.16247E+00	0.41548E-01
0.52871E-02	0.19000E+01	0.16965E+01	0.29473E-02	0.38631E+00	0.25886E-01
0.57317E-02	0.19000E+01	0.17916E+01	0.27908E-02	0.43260E+00	0.23116E-01
0.20076E-01	0.20000E+01	0.18104E+01	0.27619E-02	0.53747E+00	0.18606E-01
0.66881E-01	0.22000E+01	0.36915E+01	0.13544E-02	0.73751E+00	0.13559E-01
0.55815E-01	0.22000E+01	0.38998E+01	0.12821E-02	0.89082E+00	0.11226E-01
0.12337E+00	0.23000E+01	0.43992E+01	0.11366E-02	0.10781E+01	0.92752E-02
0.07322E+00	0.23000E+01	0.44952E+01	0.66737E-03	0.18184E+01	0.54992E-02
	0.23000E+01	0.44952E+01	0.66737E-03	0.18186E+01	0.54992E-02