

## Station SBEG: Bestimmung eines Wellengeschwindigkeitsprofils

Standort: Bettingen, Basel Stadt

Seismische Station: SBEG

Methode: Arraymessungen, Inversion kombiniert mit H/V

Datum: April 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/SBEG

Mächtigkeit (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Kommentar / Geologie
Ca.5	<1350		Kulturschicht Löss (nicht aufgelöst)
Ca.20		350-400	Verwitterter Keupermergel
		1800-2400	Sandstein

Tabelle: Vorgeschlagenes vereinfachtes Geschwindigkeitsmodell am Standort SBEG. Die Mächtigkeit der Lockersedimente ist ca. 25 m mächtig. Aufgrund der gemessenen Geschwindigkeiten entspricht der Standort einer Bodenklasse E nach SIA261.

### Geologie

Die oberste Schicht ist eine Kulturschicht, deren Zusammensetzung unbekannt ist, darunter folgt eine Lössschicht. Löss ist eine äolische, feinporöse Ablagerung in Silt-Korngrösse. Sie besteht aus feinen, eckigen Quarzkörnern und enthält einen hohen Kalkanteil. Der Löss ist primär ungeschichtet gelagert. An der Oberfläche ist er verwittert und entkalkt (Lösslehm) und neigt an Hanglagen zu Verschwemmungen und Solifluktion. An der Basis der Lössschicht liegt der zuvor gelöste und wieder ausgefällte Kalk in Form von „Lösskindeln“ vor. In gewissen Abschnitten enthält der Löss eine reiche Gastropodenfauna und ausserdem kommen innerhalb der Lössablagerungen vereinzelt Paläoböden vor.

Unter dem Löss befinden sich die oberen bunten Mergel des Keupers. Es sind dies rund 30 Meter mächtige Mergel mit Dolomitbänken, Steinmergeln und Tonen eingelagert. Die Härteklassierung der oberen bunten Mergel beträgt 2. 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.

Referenz: Bohrkataster BS /BL

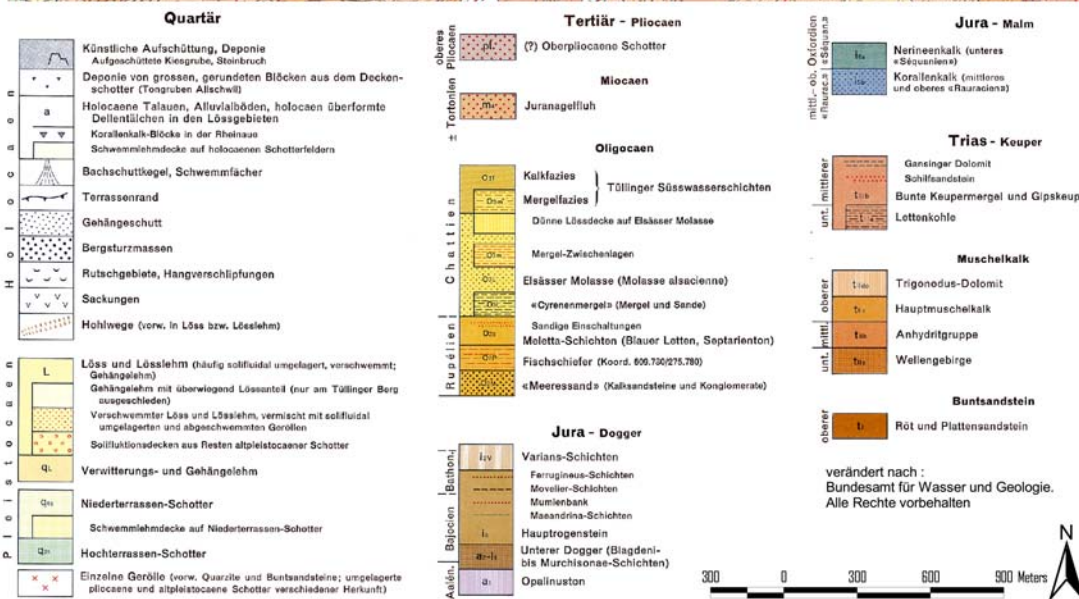
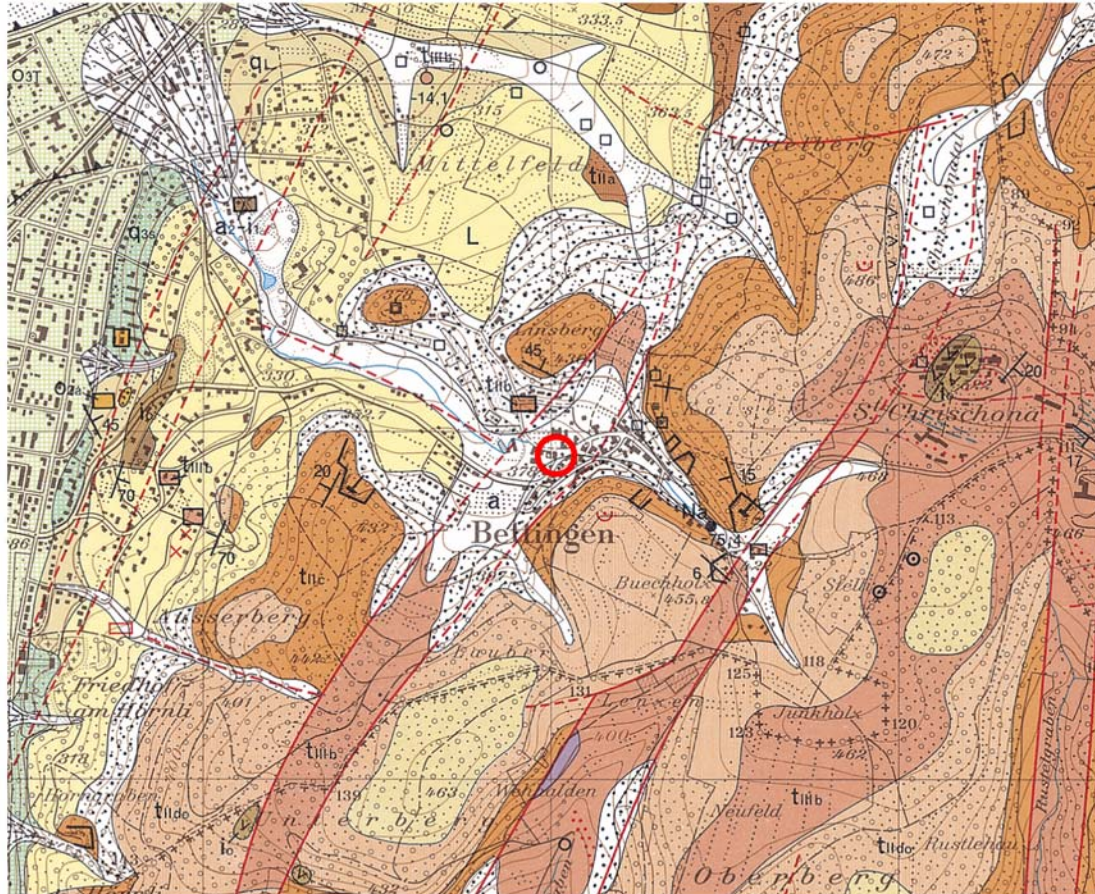


Abbildung 1. Oberflächengeologie bei der Station SBEG.

### Messungen der Eigenfrequenz der Lockersediment-Ablagerungen

Abbildung 2 zeigt die Lage des Arrays bei der Starkbebenstation SBEG. Ein Vergleich zwischen H/V Spektren an der Starkbebenstation SBEG und der zentralen Station im Array bei SBEG ist in Abbildung 3 gezeigt. Die H/V Kurven sind für die Stationen sehr ähnlich, was auf eine ähnliche Struktur im Untergrund hindeutet.

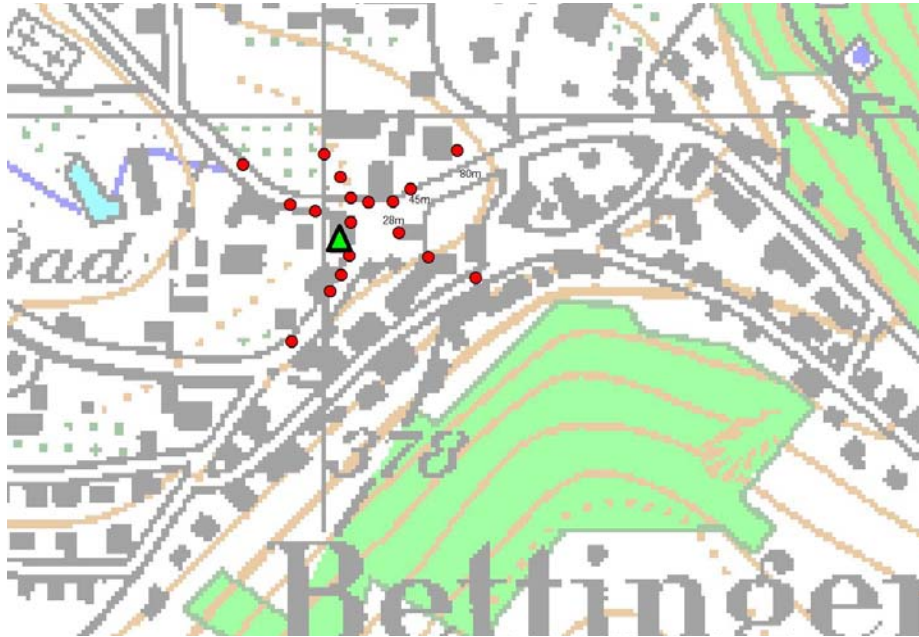


Abbildung 2. Angewandte Arraygeometrie bei der Station SBEG (rote Punkte). Radius des äusseren Rings : 75 m. Die Position der Station SBEG ist als Dreieck gegeben.

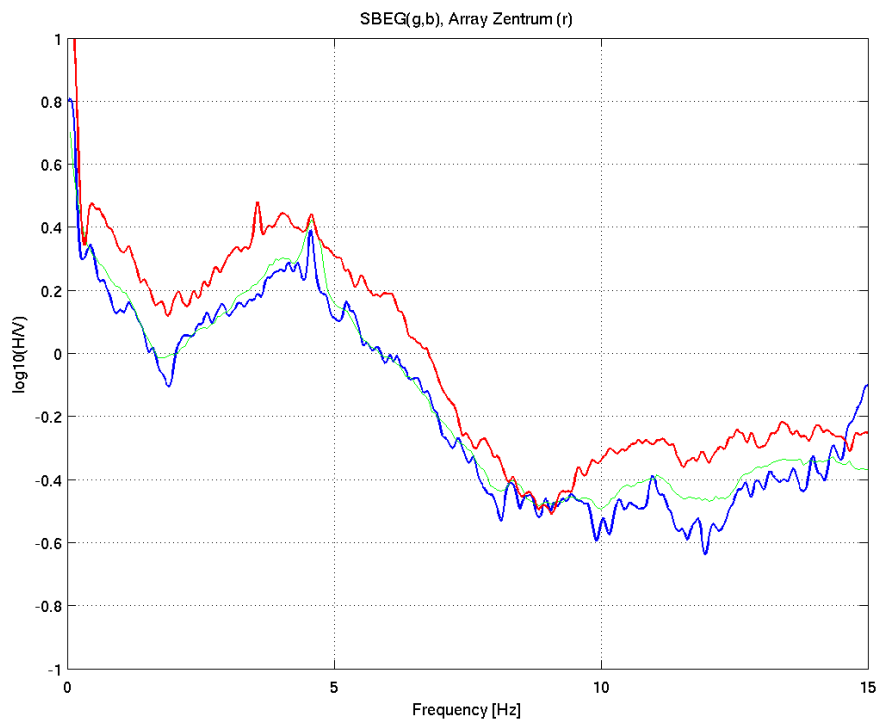
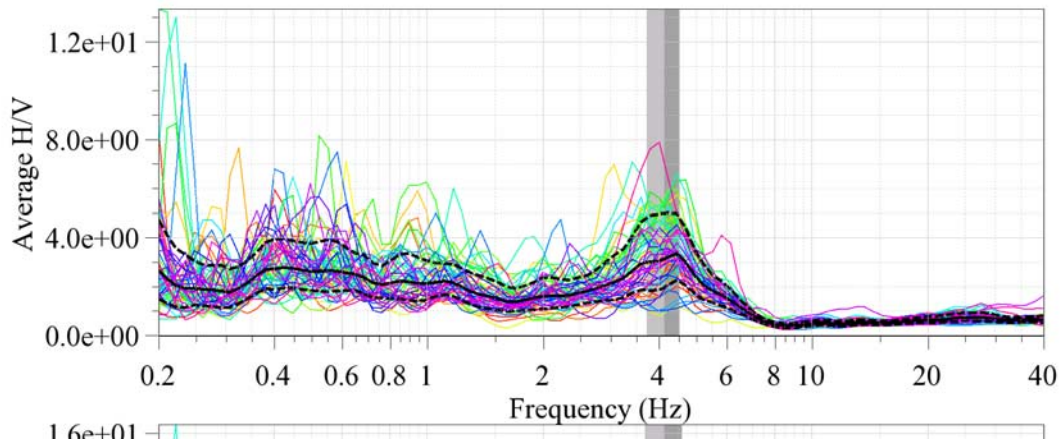


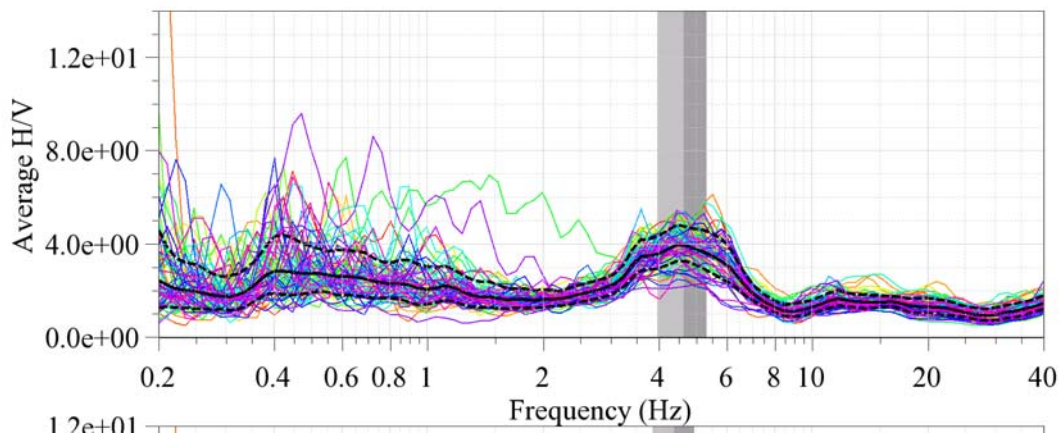
Abbildung 3. Resultat der H/V Polarisationsanalyse bei der Station SBEG (blau: klassische Methode; grün: Frequenz-Zeit Analyse), im Arrayzentrum bei der Station SBEG (rot: klassische Methode) .

Diese Stabilität der H/V Kurven in der Umgebung der Station SBEG, und somit die geringe Variabilität der Struktur, wird durch die H/V Analyse an verschiedenen Stationen im Array SBEG bestätigt (Abbildung 4). Der Peak bei der Fundamentalfrequenz (3.5-4.5 Hz) ist dazu ziemlich stark ausgeprägt (Amplitude > 3), was auf einen grossen Geschwindigkeitskontrast zwischen Lockersedimenten (Löss/verwitterter Keuper) und Fels schliessen lässt.

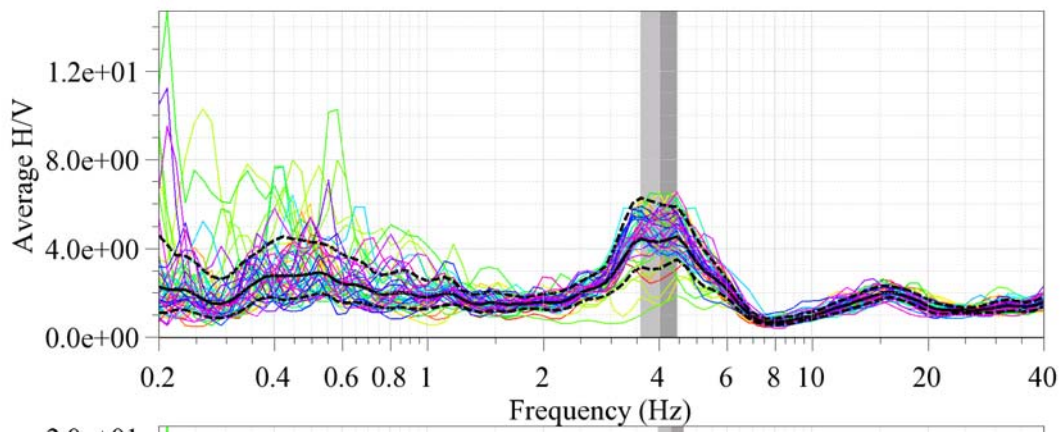
#### Array-Zentrum



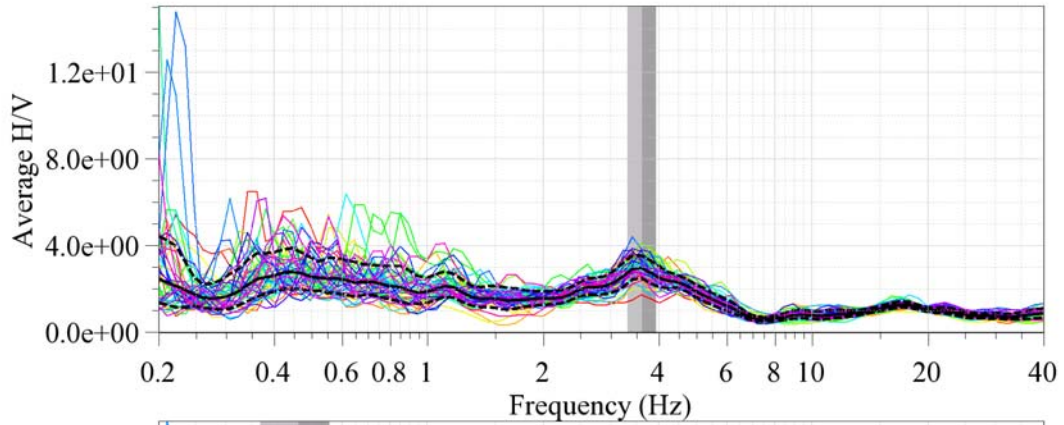
#### Ring3 Station Nord 350°



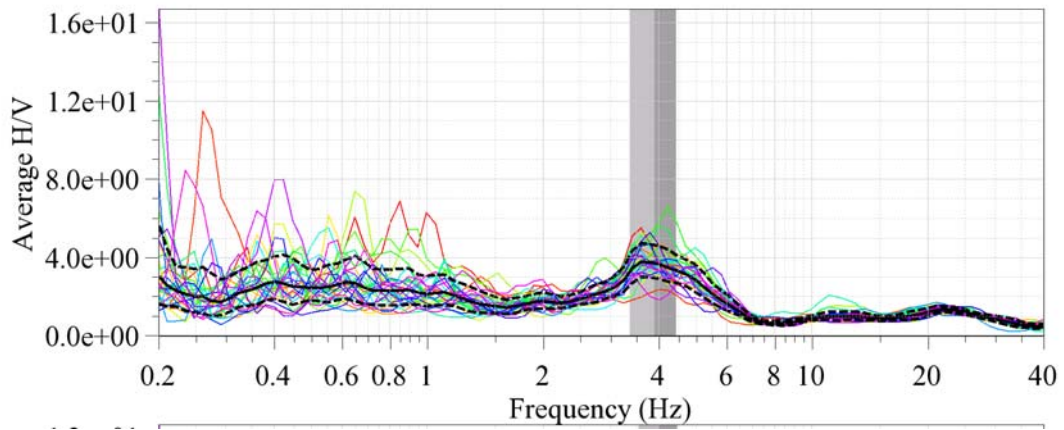
#### Ring3 Station North 70°



## Ring3 Station Nord 110°



## Ring3 Station Nord 200°



## Ring3 Station Nord 300°

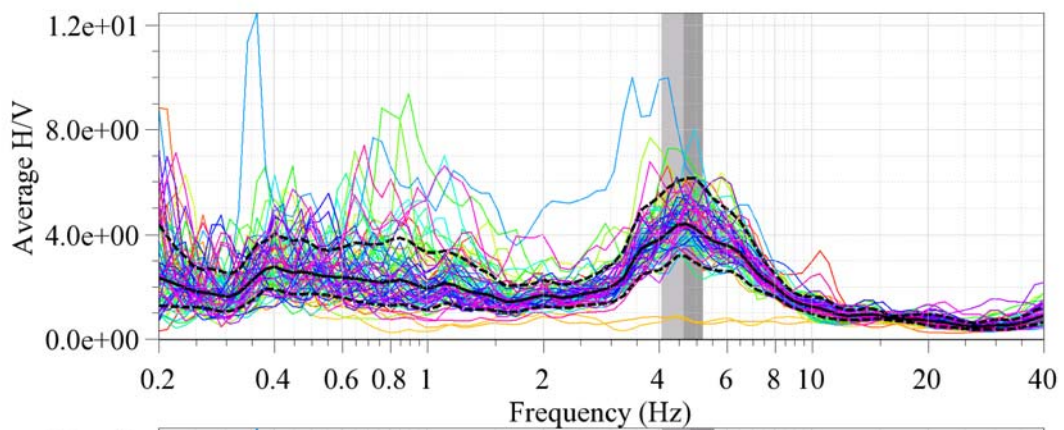


Abbildung 4. Resultat der H/V Polarisationsanalyse der Stationen im Array bei SBEG.

## 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 zwei Konfigurationen wurden zu einer kombinierten Dispersionskurve zusammengefügt (Abbildung 5). Die Resultate der F-K Analyse für die Arraykonfigurationen sind in Appendix B gegeben.

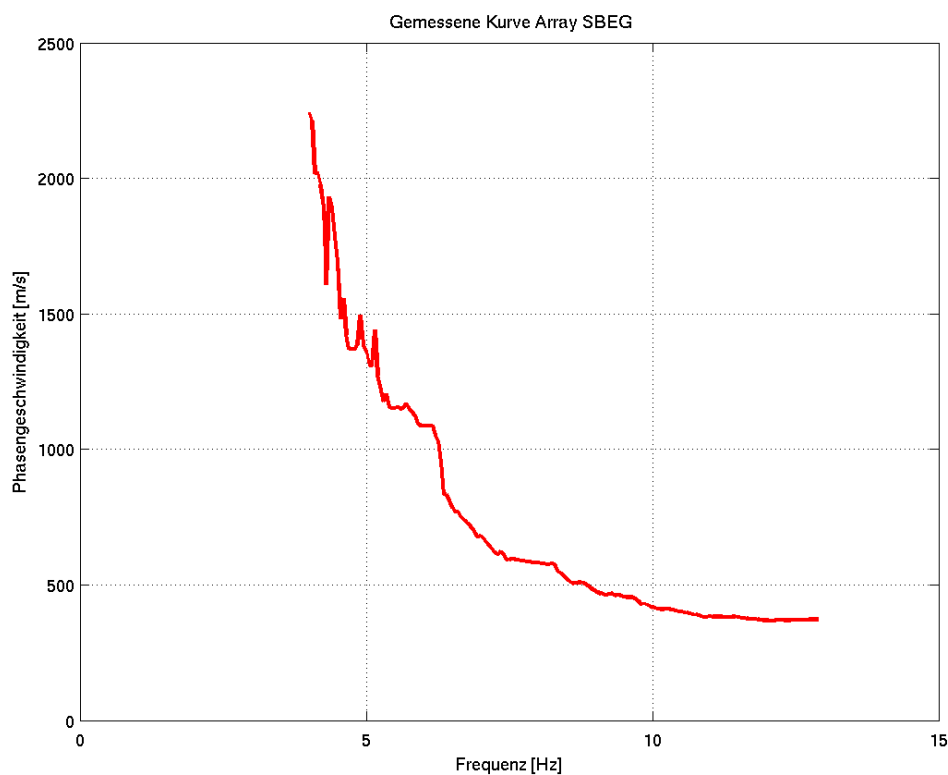


Abbildung 5. Gemessene Dispersionskurve am Standort SBEG. Es wurden hier nur die vertikalen Komponenten des Arrays analysiert.

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. Zudem werden die geologischen Informationen miteinbezogen.

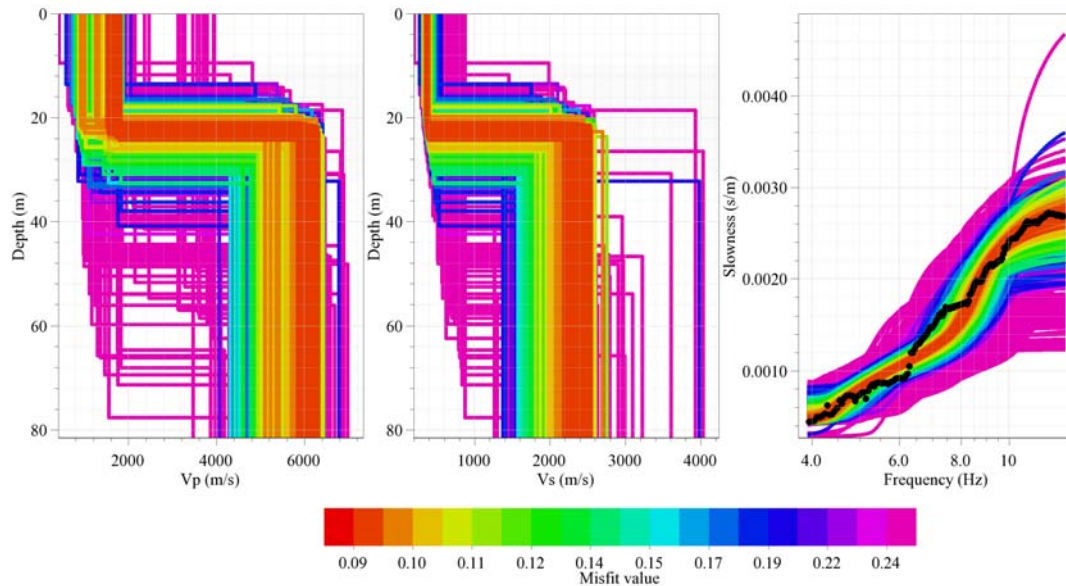


Abbildung 6. Gemessene Dispersionskurven und daraus invertierte Modelle bei der Station SBEG. Die roten Bereiche zeigen die am besten passenden Modelle, wenn nur mit Hilfe der Dispersionskurve invertiert wird. Es wurde ein Modell mit zwei Schichten angenommen. Für diese Analyse wurde die Software CAP 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 folgende Strukturen unterschieden:

- Grüne Kurven: Berücksichtigung der gemessenen Phasengeschwindigkeit; Berücksichtigung der Fundamentalfrequenz und teilweise der hochfrequenten Flanke der H/V Kurve und deren Unsicherheit.
- Blaue Kurven: Berücksichtigung der gemessenen Phasengeschwindigkeit; Berücksichtigung der Fundamentalfrequenz und der beiden Flanken der H/V Kurve und deren Unsicherheit.

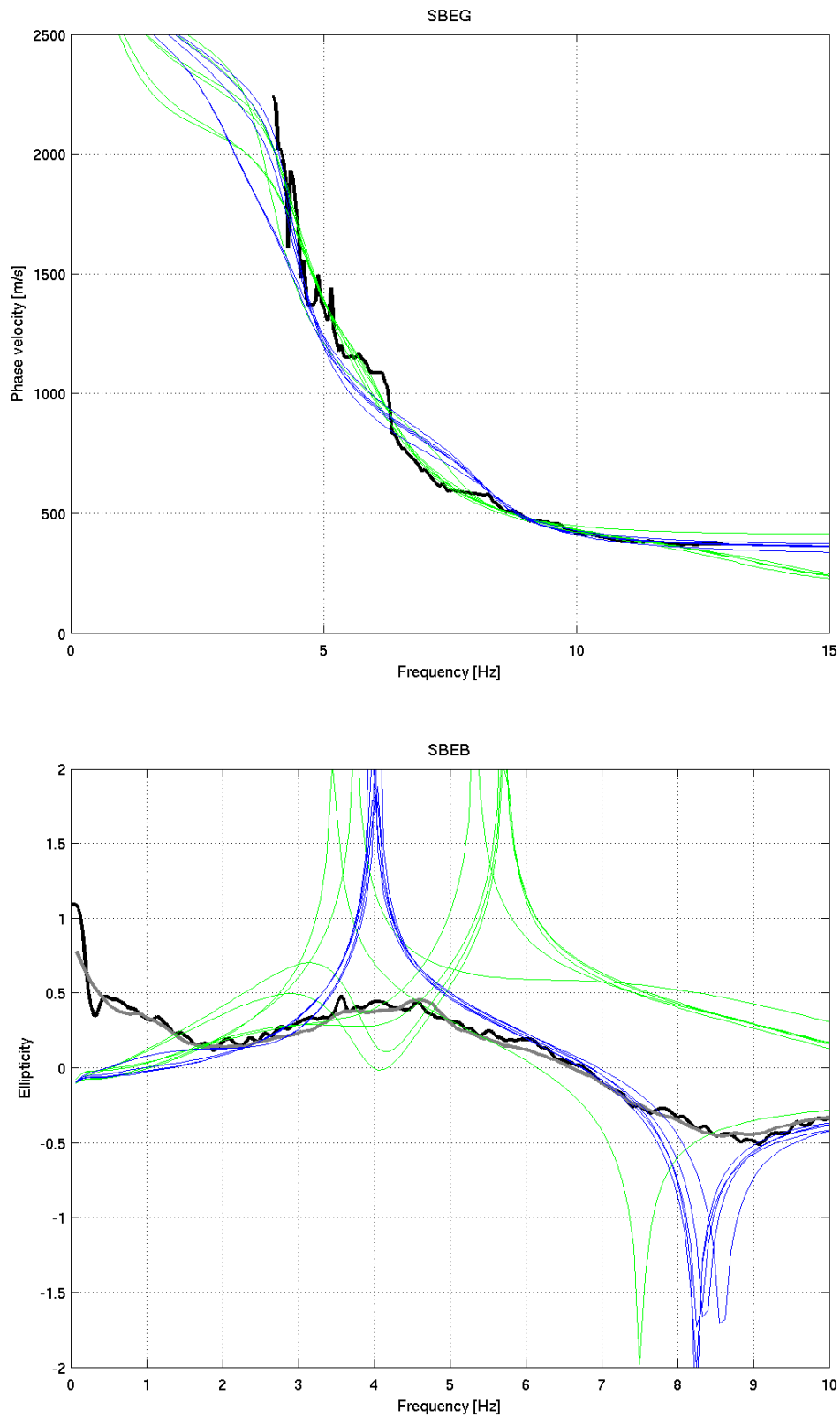


Abbildung 7. Anpassung der Phasengeschwindigkeit (oben) an die gemessenen Werte und der Elliptizität (unten) der Rayleighwellen an das H/V Spektrum am Standort SBEG.



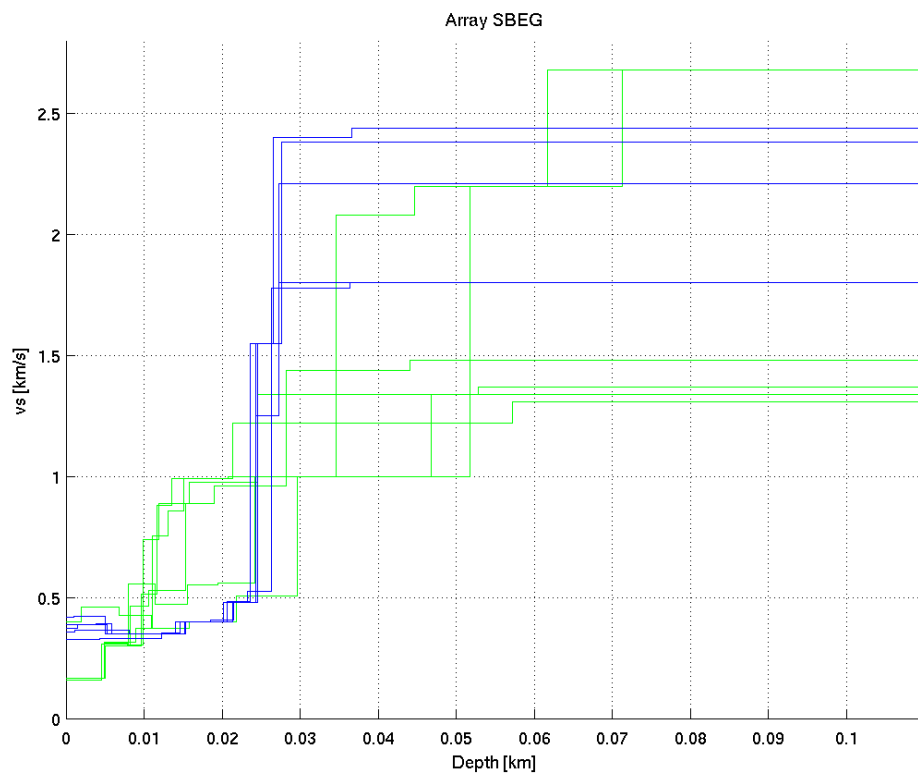
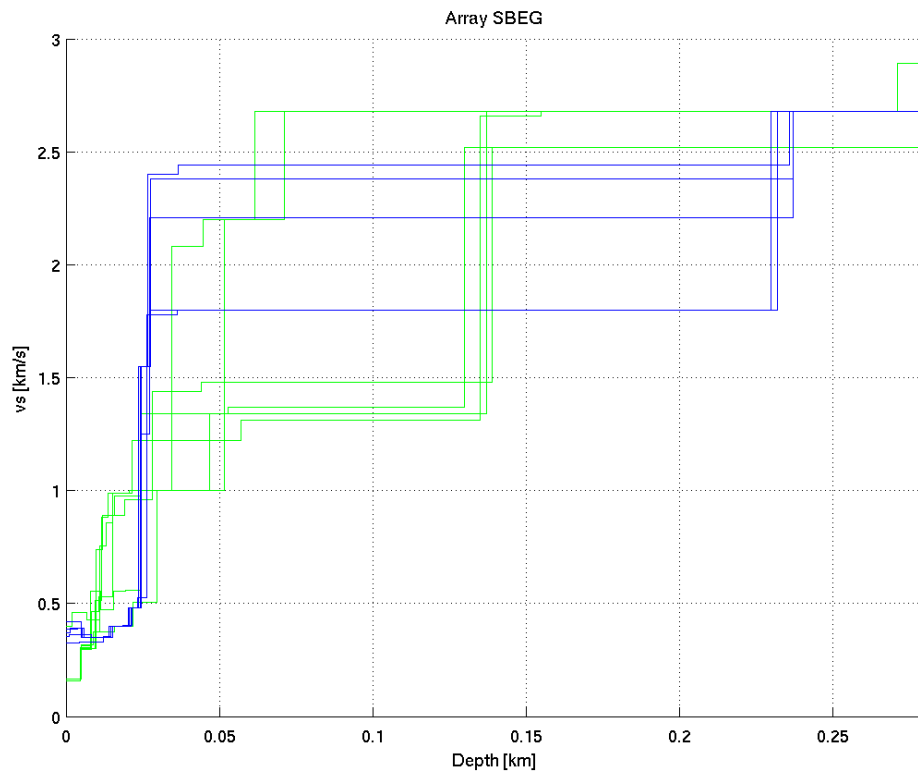


Abbildung 8. Invertierte S-Wellenprofile. Die blauen Strukturen entsprechen den bevorzugten Modellen, da bei der Inversion die Flanken der H/V Kurve berücksichtigt wurde.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Inversion gezeigt. Die bevorzugten Modelle (blau) ergeben an der Oberfläche eine Schicht von ca. 25m Mächtigkeit mit einer fast konstanten S-Wellengeschwindigkeit von 350-400 m/s. Diese Schicht besteht an der Oberfläche aus einer Kulturschicht und Löss. Die Geschwindigkeit dieser Schicht kann nicht aufgelöst werden. Darunter folgen verwitterte bunte Mergel. Diese ca. 20m mächtige Schicht weist die mittlere S-Wellengeschwindigkeit von 350-400m/s auf. Der kompakte Fels (Sandstein) wird in ca. 25m Tiefe erreicht. Die mittlere S-Wellengeschwindigkeit hat hier Werte im Bereich von ca. 1800-2400m/s. 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. *Eclogae 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 SBEG

Koordinaten: 617010 / 268934

Höhe über Meer: 375m

Grundwasserstand: **keine Angaben** *Bohrung und Station befinden sich in Keupergraben*

----- Bohrung BS- G. T. 2700 -----

Kote Terrain Bohrung: 387.82

Bei Strongmotion Station bunte Mergel anstehend.

## Quartär

Pleisto.	0.00	bis	2.00	Kulturschicht
	2.00	bis	5.30	Löss

## Tertiär

nicht vorhanden

## Kreide

nicht vorhanden

## Jura

nicht vorhanden

## Trias

Keuper	5.30	bis	10.00	bunte Mergel
--------	------	-----	-------	--------------

----- Bohrtiefe -----

Muschelk.

Top Bundsst	96.00	fein- bis grobkörniger Sandstein
-------------	-------	----------------------------------

**(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)**

Appendix B: F-K Analyse für die Arraykonfigurationen

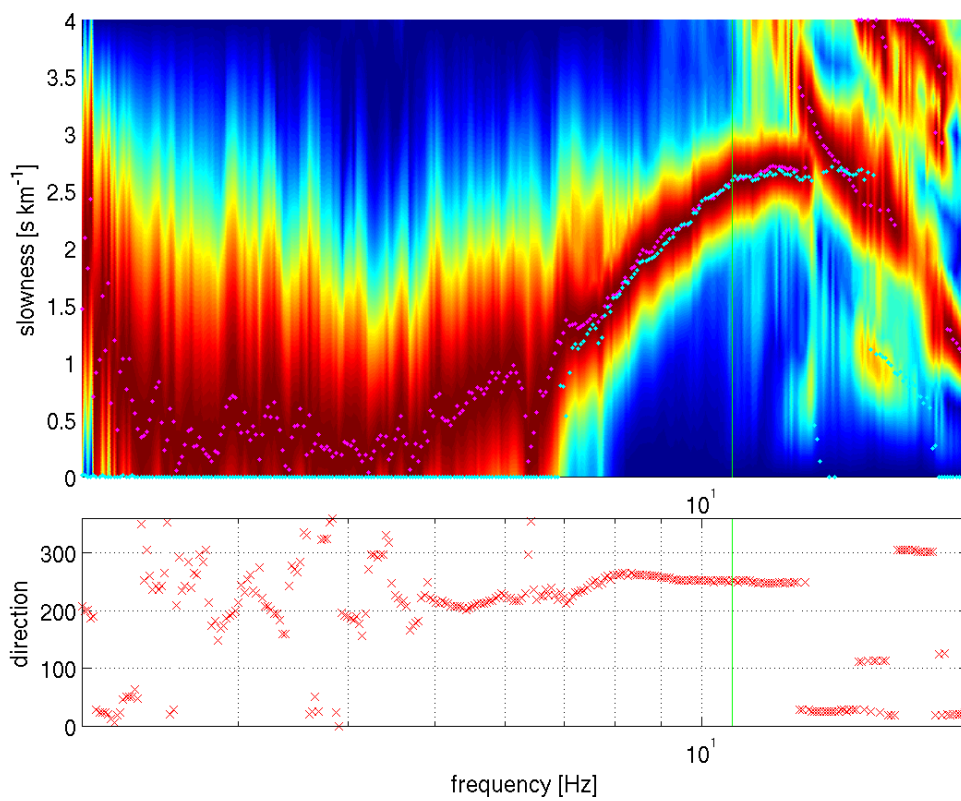
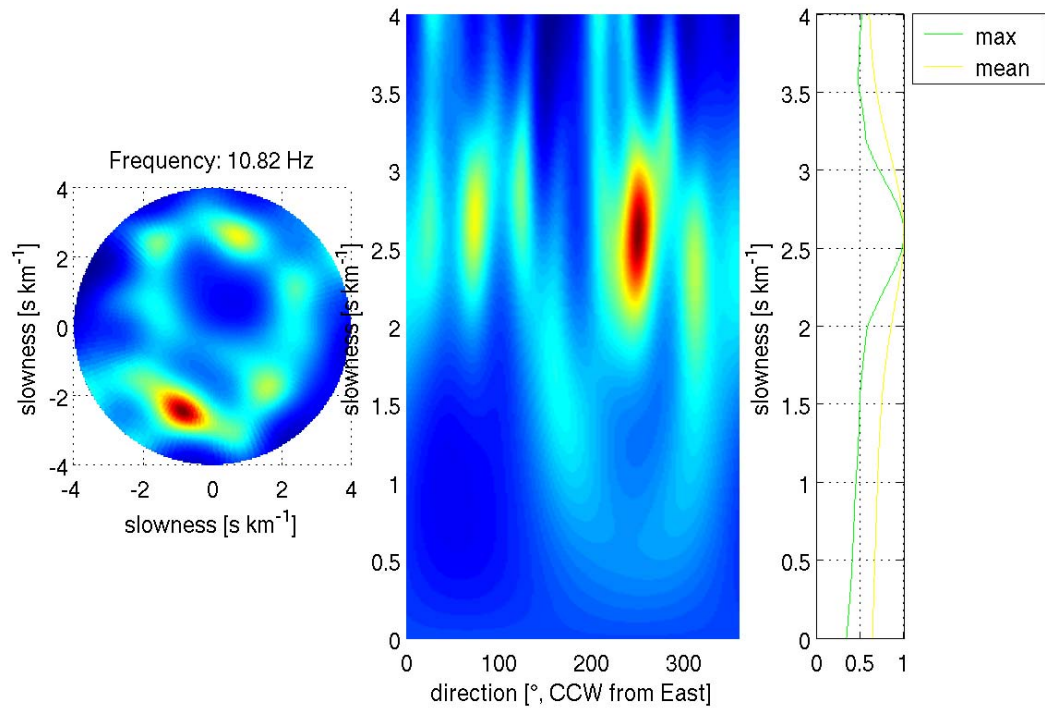


Abbildung B.1. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 20 m Radius.

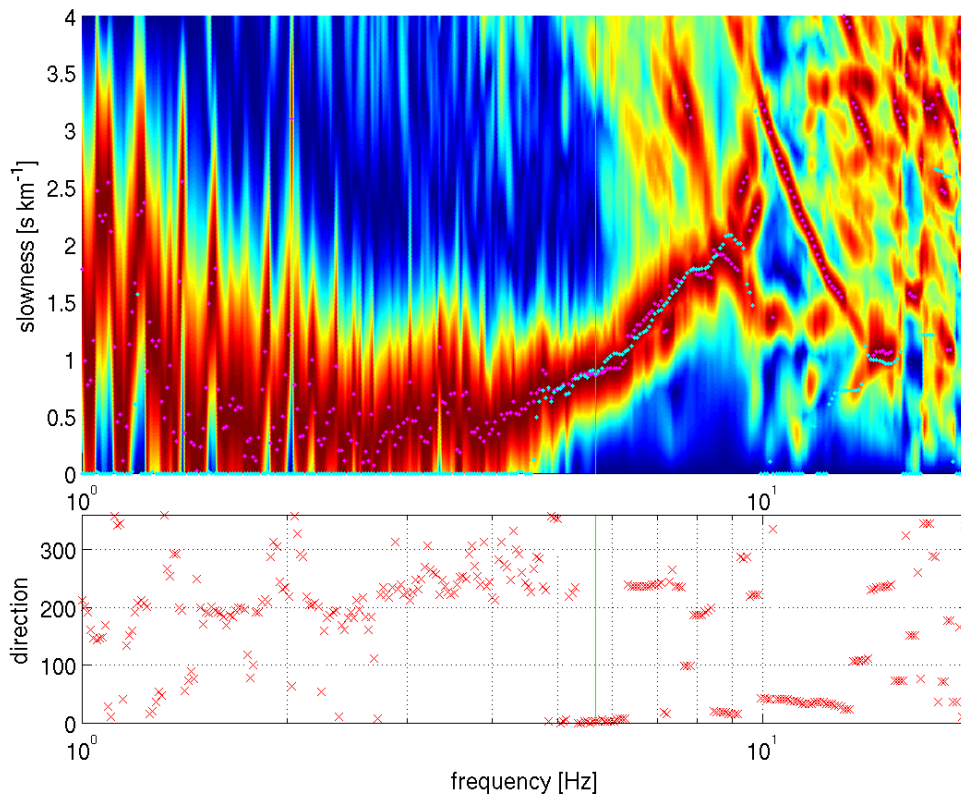
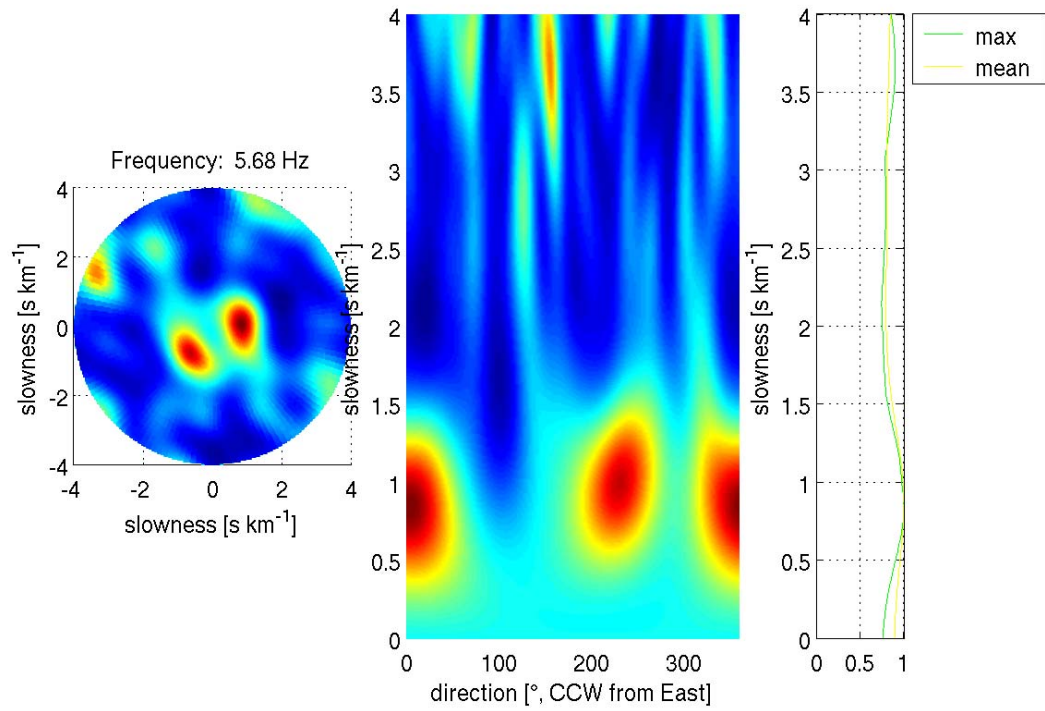


Abbildung B.2. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 50 m Radius.

## Appendix C: Mögliche Strukturen am Standort SBEG

Die hier gegebenen Strukturen entsprechen den 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)
0.10051E-02	0.18000E+01	0.14969E+01	0.33402E-02	0.41838E+00	0.23902E-01
0.40084E-02	0.19000E+01	0.19000E+01	0.26316E-02	0.42134E+00	0.23734E-01
0.89926E-02	0.19000E+01	0.19310E+01	0.25893E-02	0.35017E+00	0.28558E-01
0.31407E-02	0.20000E+01	0.19746E+01	0.25321E-02	0.40005E+00	0.24997E-01
0.30893E-02	0.22000E+01	0.20171E+01	0.24788E-02	0.40000E+00	0.25000E-01
0.30068E-02	0.22000E+01	0.21188E+01	0.23598E-02	0.48045E+00	0.20814E-01
0.30244E-02	0.23000E+01	0.21353E+01	0.23416E-02	0.52665E+00	0.18988E-01
0.10089E-01	0.23000E+01	0.42982E+01	0.69796E-03	0.17843E+01	0.56045E-02
	0.23000E+01	0.46499E+01	0.64518E-03	0.18000E+01	0.55556E-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)
0.11470E-02	0.18000E+01	0.14982E+01	0.33374E-02	0.35625E+00	0.28070E-01
0.69850E-02	0.19000E+01	0.16250E+01	0.30769E-02	0.36379E+00	0.27488E-01
0.71305E-02	0.19000E+01	0.17608E+01	0.28397E-02	0.35025E+00	0.28551E-01
0.30176E-02	0.20000E+01	0.19237E+01	0.25991E-02	0.40022E+00	0.24986E-01
0.30007E-02	0.22000E+01	0.19507E+01	0.25631E-02	0.40005E+00	0.24997E-01
0.30020E-02	0.22000E+01	0.22026E+01	0.22700E-02	0.48081E+00	0.20798E-01
0.30014E-02	0.23000E+01	0.33972E+01	0.14718E-02	0.15498E+01	0.64526E-02
0.10143E-01	0.23000E+01	0.42994E+01	0.69777E-03	0.22072E+01	0.45307E-02
	0.23000E+01	0.46498E+01	0.64519E-03	0.22075E+01	0.45300E-02

### Struktur Nr.15

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)
0.42667E-02	0.18000E+01	0.14951E+01	0.33442E-02	0.32529E+00	0.30742E-01
0.79432E-02	0.19000E+01	0.16247E+01	0.30775E-02	0.33014E+00	0.30290E-01
0.23887E-02	0.19000E+01	0.17503E+01	0.28567E-02	0.35250E+00	0.28369E-01
0.30010E-02	0.20000E+01	0.17908E+01	0.27920E-02	0.40011E+00	0.24993E-01
0.30020E-02	0.22000E+01	0.17960E+01	0.27840E-02	0.40099E+00	0.24938E-01
0.30010E-02	0.22000E+01	0.20800E+01	0.24038E-02	0.48168E+00	0.20760E-01
0.30000E-02	0.23000E+01	0.33708E+01	0.14833E-02	0.15492E+01	0.64549E-02
0.10000E-01	0.23000E+01	0.42997E+01	0.69772E-03	0.23992E+01	0.41681E-02
	0.23000E+01	0.46497E+01	0.64520E-03	0.24415E+01	0.40959E-02