

## SBAF: Bestimmung eines Wellengeschwindigkeitsprofils

Standort: Standort Starkbebenstation SBAF, Basel Stadt

Seismische Station: SM SBAF

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/SBAF

Mächtigkeit (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Kommentar / Geologie
8-10	> 1350 ab 6m Tiefe	190-240	Niederterrassenschotter (Kies, Sand), im Grundwasser. Dichte: 1850 g/cm <sup>3</sup>
Ca. 10	1600-2500	350-500	Melettaschichten verwittert Dichte: 2000 g/cm <sup>3</sup>
Ca. 40	1700-2500	500-600	Melettaschichten (Härteklasse 1)
Ca. 40	1800-2500	600-700	Melettaschichten (Härteklasse 1)
50-80	1900-2500	700-900	Melettaschichten (Härteklasse 1)
200	3400 <sup>B</sup> (3200-3600)	2000 <sup>B</sup> (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 <sup>3</sup>
	4000 <sup>B</sup> (3600-4500)	2350 <sup>B</sup> (2150-2650)	Dichte: 2550 g/cm <sup>3</sup>

Tabelle: Vorgeschlagenes vereinfachtes Geschwindigkeitsmodell am Standort SBAF. Aufgrund der gemessenen Geschwindigkeiten entspricht der Standort einer Bodenklasse C oder E nach SIA261. <sup>B</sup>) 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 von ca. 10 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 Lehmantel 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 graublaue, 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 244 m ü.M., in 6m Tiefe.  
 Referenz: Bohrkataster BS /BL

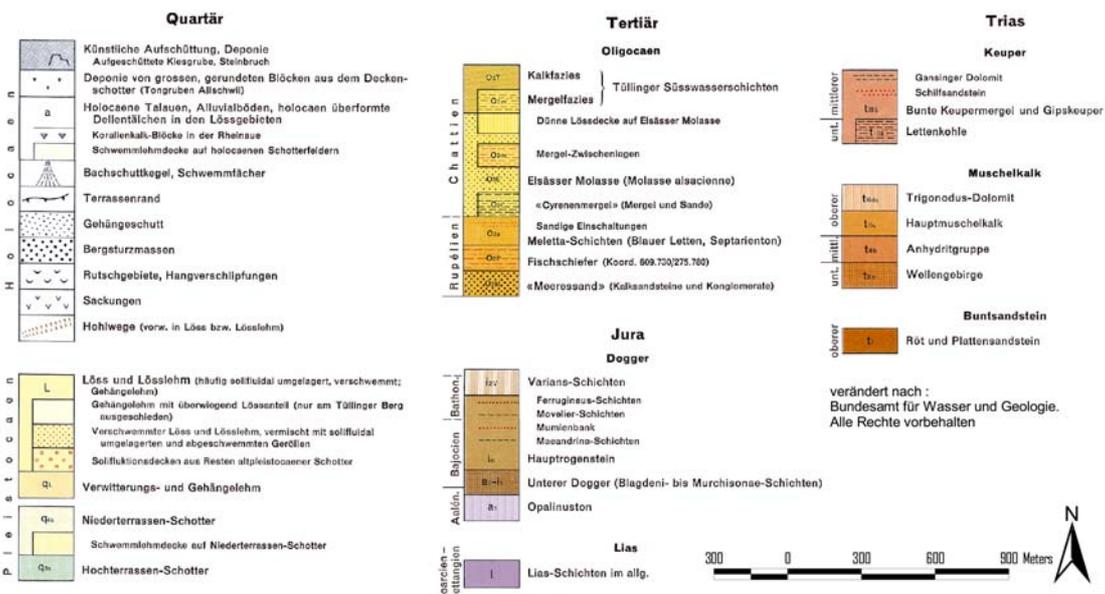
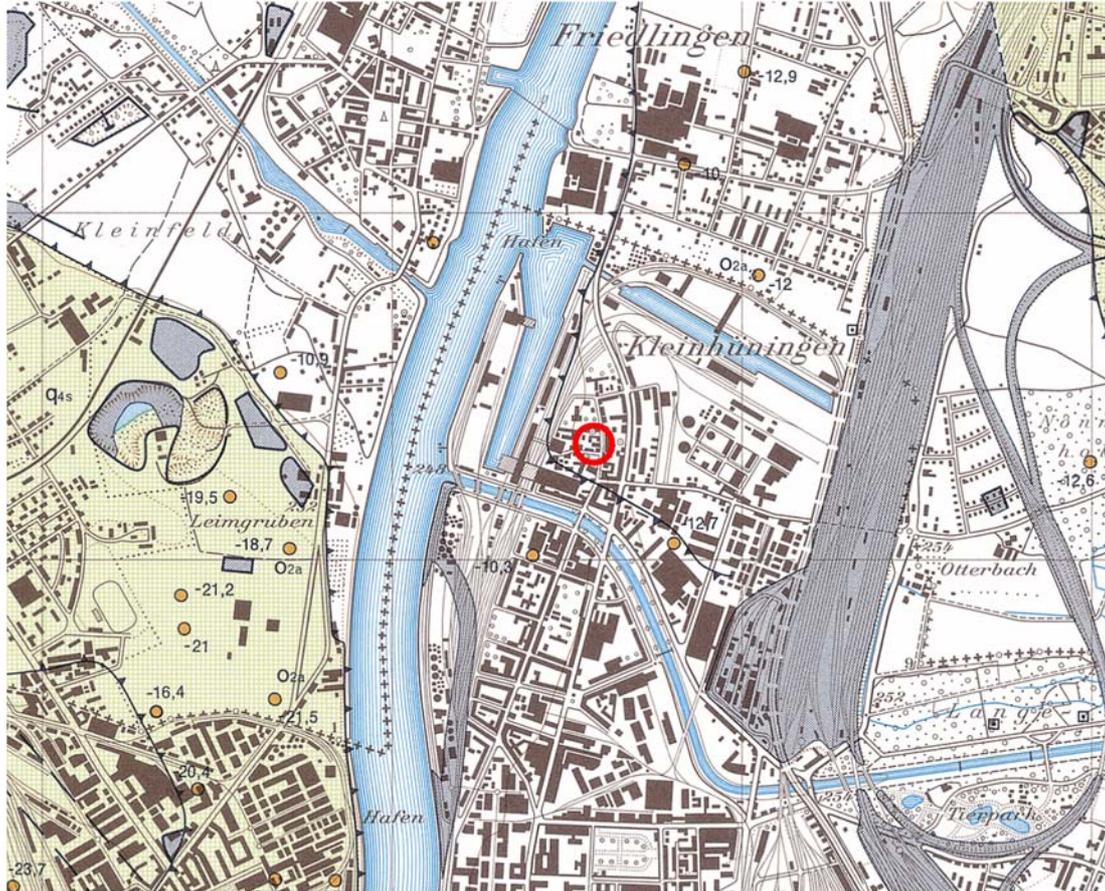
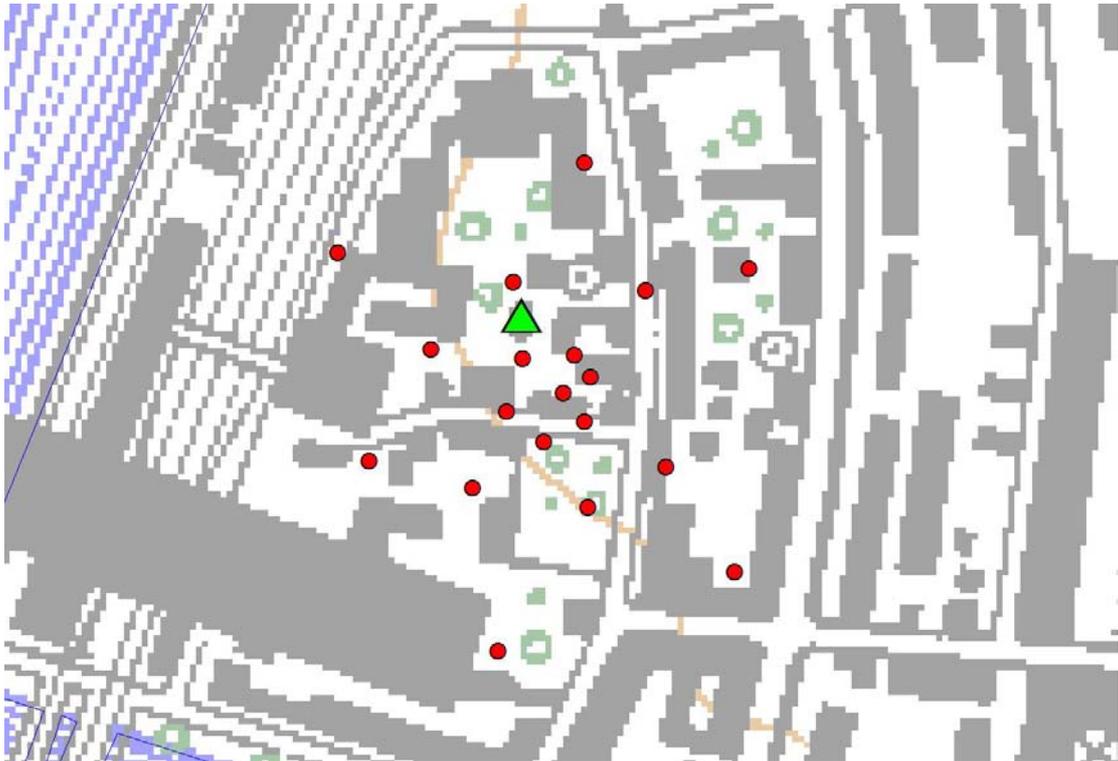


Abbildung 1. Oberflächengeologie bei der Station SBAF.

## Messungen der Eigenfrequenz der Lockersediment-Ablagerungen

Abbildung 2 zeigt die Lage des Arrays bei der Station SBAF. 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 SBAF. Die Übereinstimmung der H/V Kurven bei der Fundamentalfrequenz (1 Hz) ist sehr gut.



*Abbildung 2. Angewandte Arraygeometrie beim Standort SBAF (rote Punkte). Radius des äusseren Rings: 100m. Das Starkbebenstation SBAF ist als grünes Dreieck gezeigt.*

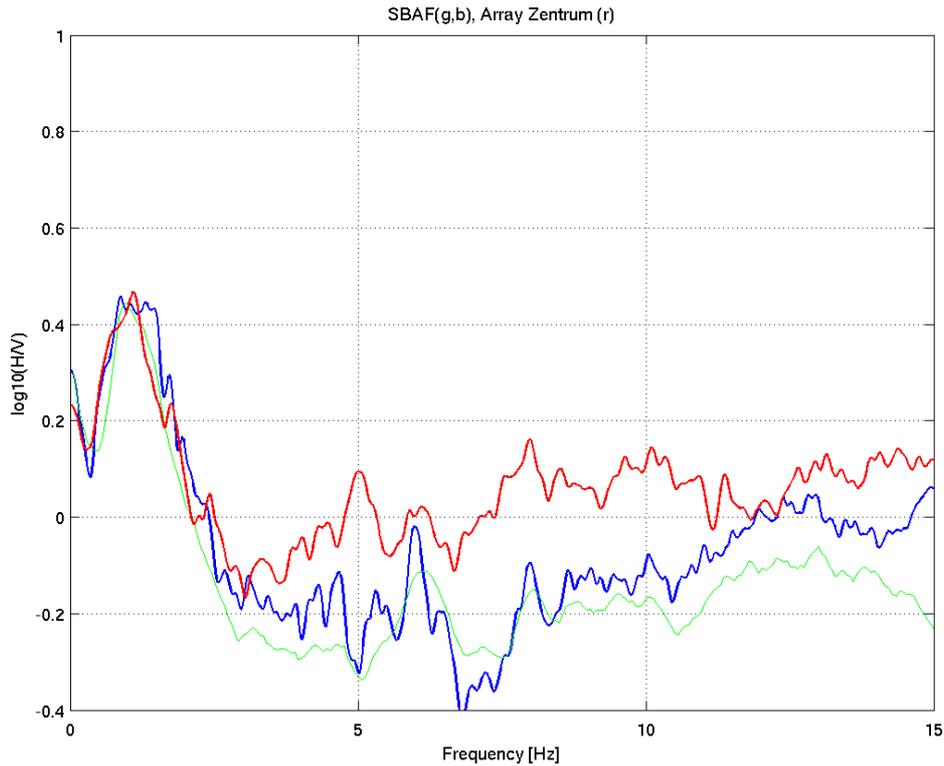
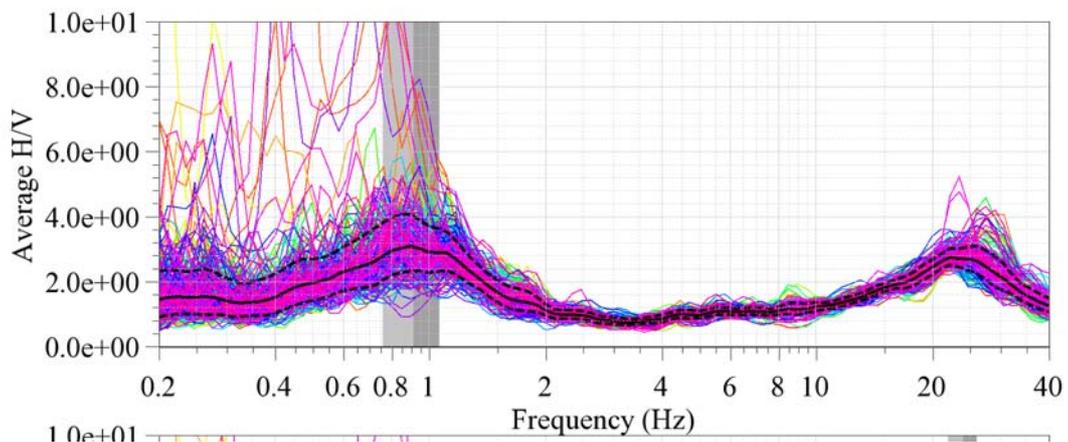


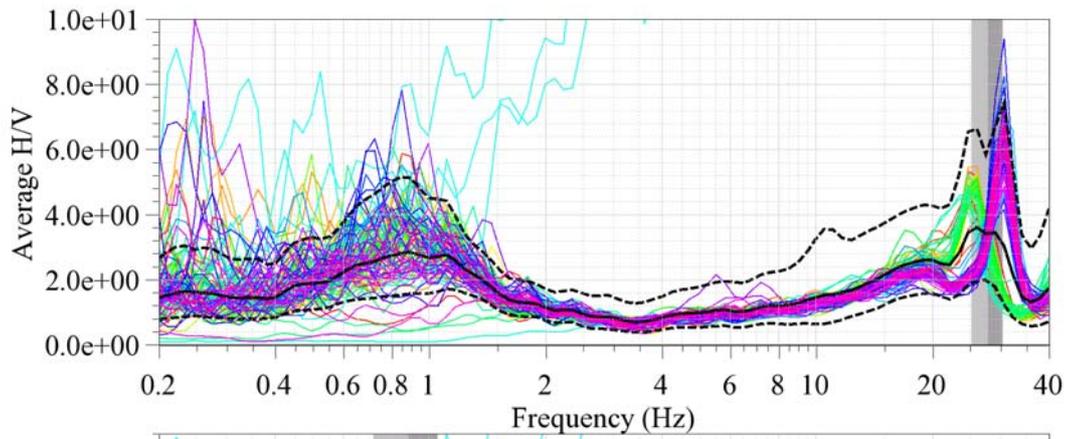
Abbildung 3. Resultat der H/V Polarisationsanalyse bei der Station SBAF (blau: klassische Methode; grün: Frequenz-Zeit Analyse), und im Arrayzentrum (rot: klassische Methode).

Diese Stabilität der H/V Kurven bei der Fundamentalfrequenz in der Umgebung der Station SBAF wird durch die H/V Analyse an verschiedenen Stationen im Array bestätigt (Abbildung 4). Die Fundamentalfrequenz liegt relativ konstant bei 0.8-1.2 Hz und die Amplitude des Peaks zwischen 2 und 4.

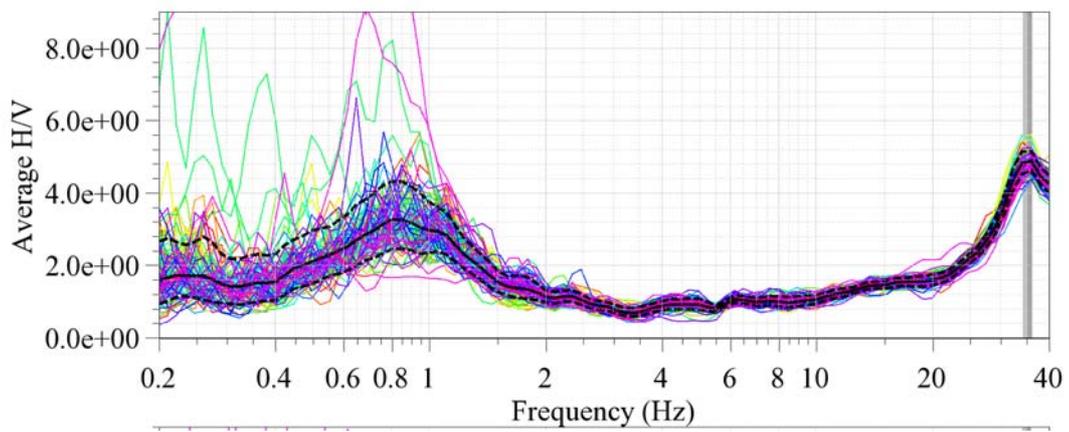
#### Array-Zentrum



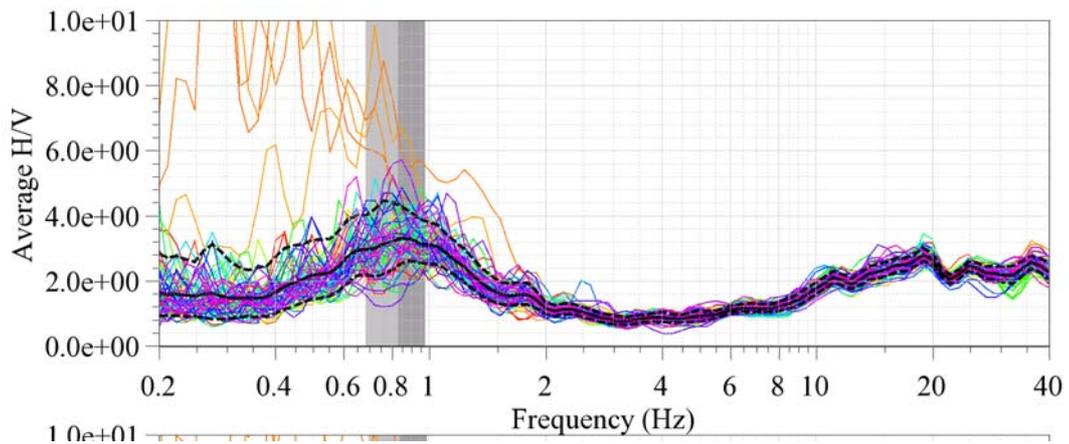
Ring3 Station Nord 10°



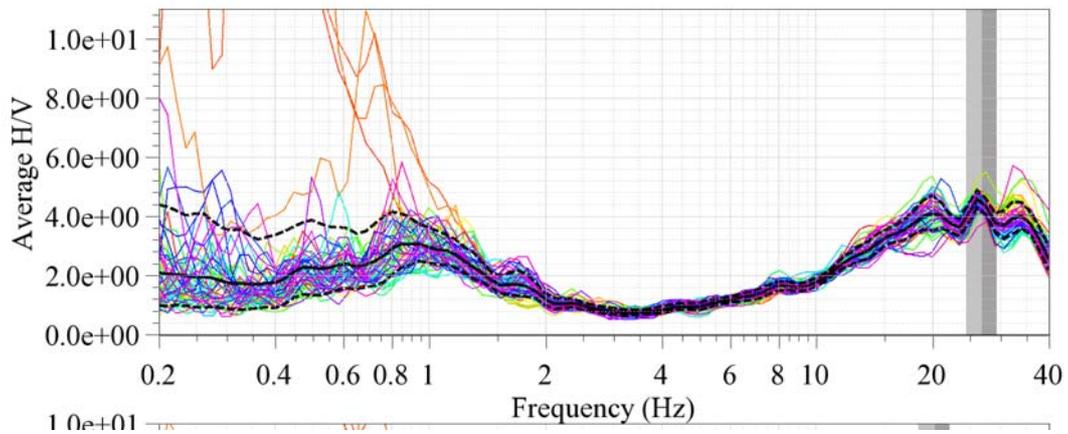
Ring3 Station North 60°



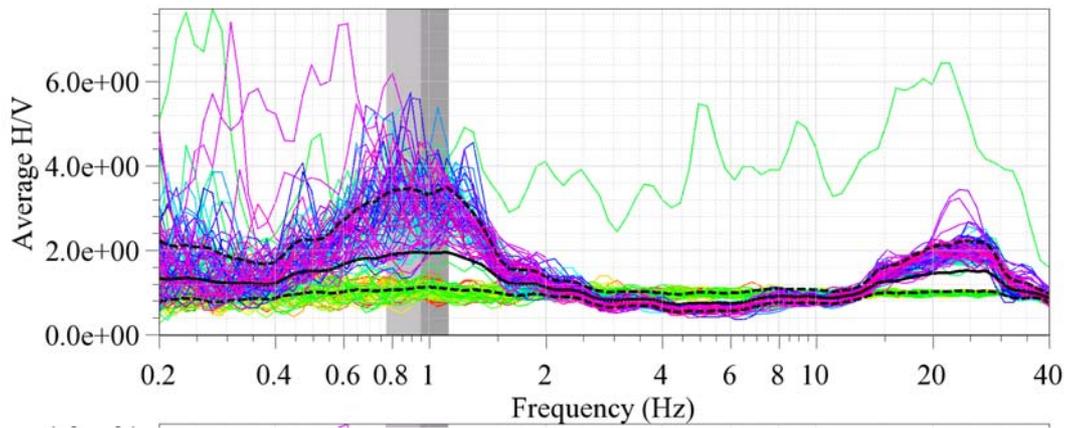
Ring3 Station Nord 140°



## Ring3 Station Nord 190°



## Ring3 Station Nord 250°



## Ring3 Station Nord 300°

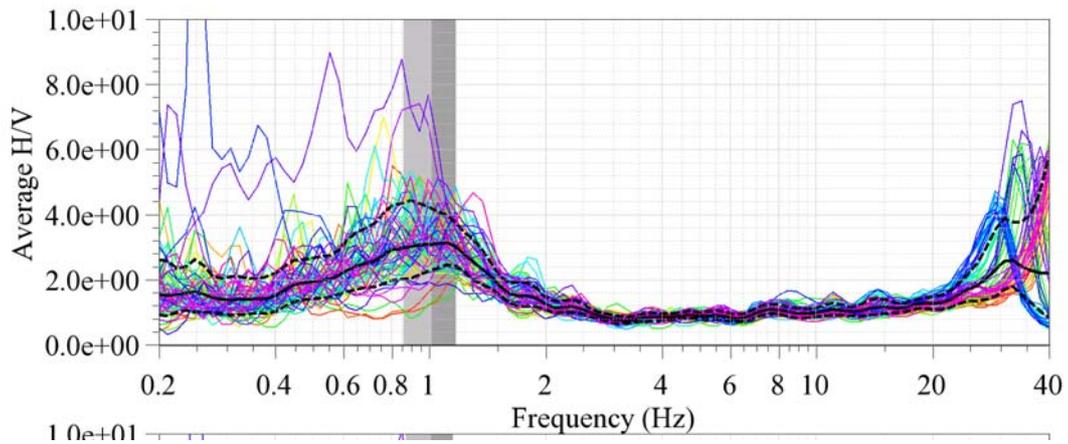


Abbildung 4. Resultat der H/V Polarisationsanalyse der Stationen im Array SBAF.

## 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 7 und 9 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.

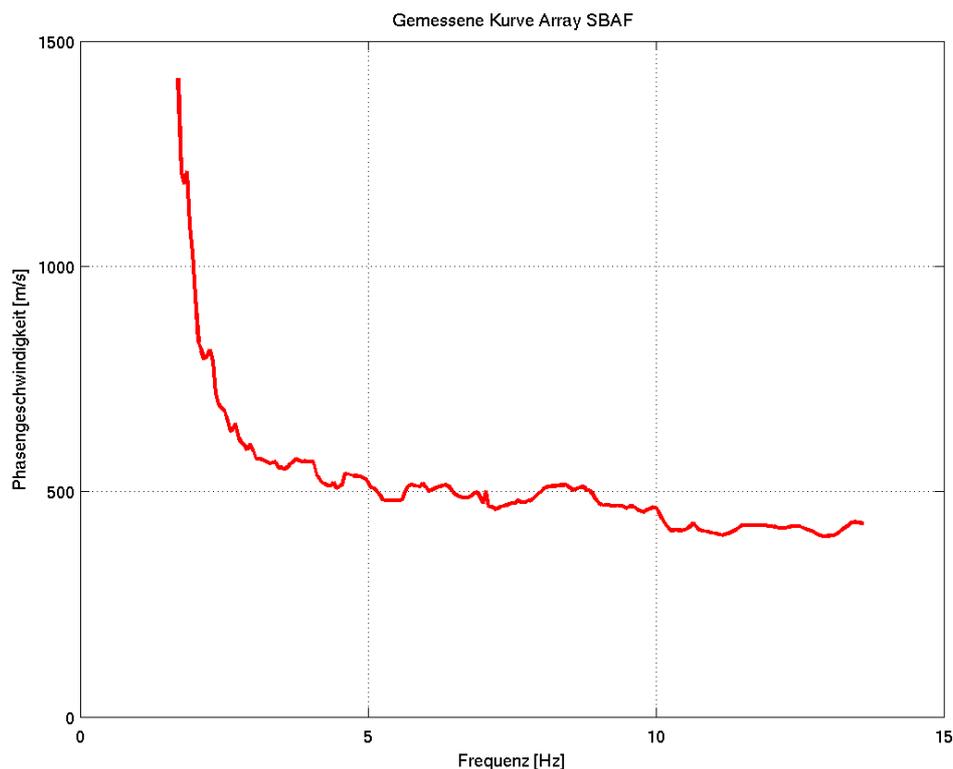


Abbildung 5. Gemessene Dispersionskurve. Es wurden hier nur die vertikalen Komponenten des Arrays analysiert.

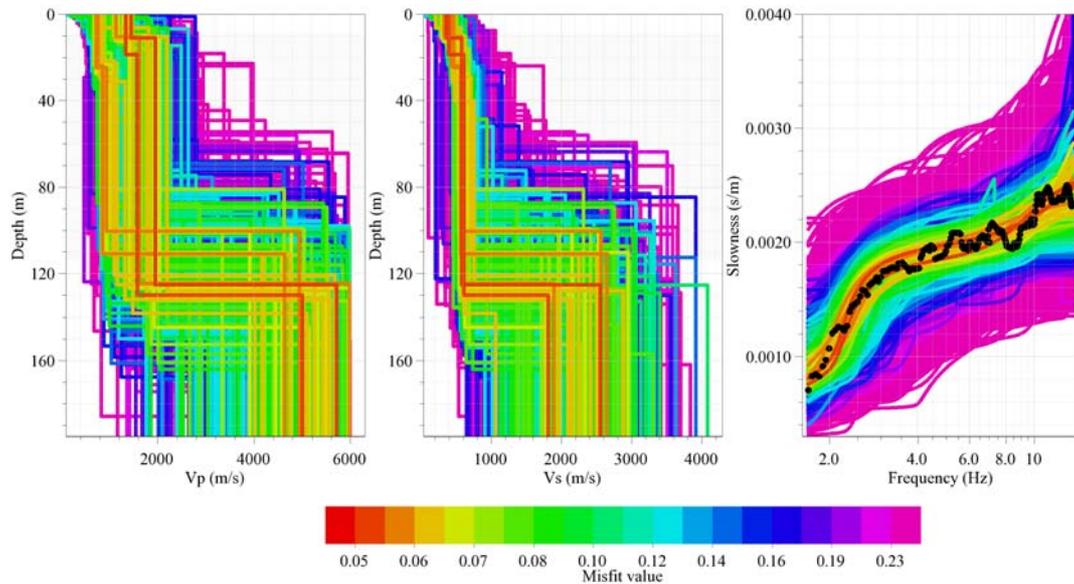


Abbildung 6. Gemessene Dispersionskurven und daraus invertierte Modelle bei Station SBAF. Die roten Bereiche zeigen die am besten passenden Modelle, wenn nur mit Hilfe der Dispersionskurve invertiert wird. Es wurde ein Modell mit drei Schichten angenommen. Für diese Analyse wurde die Software CAP und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

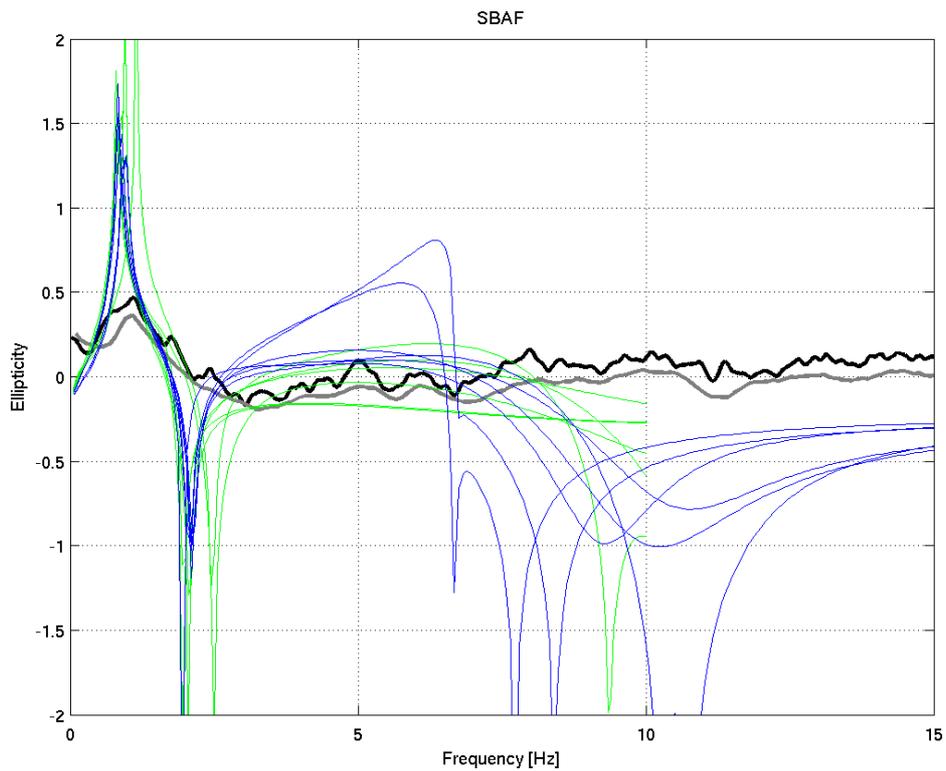
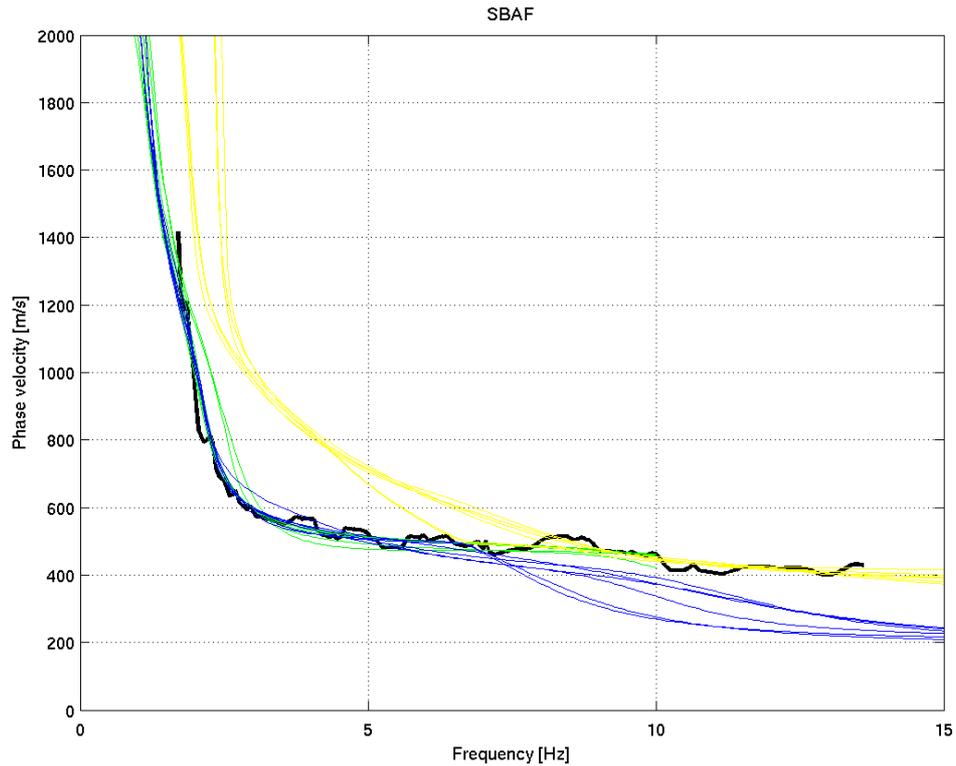


Abbildung 7. Anpassung der Phasengeschwindigkeit (oben) an die gemessenen Werte und der Elliptizität (unten) der Rayleighwellen an das H/V Spektrum am Standort SBAF. Für diese Analyse wurde ein genetischer Algorithmus verwendet (Fäh et al., 2003).

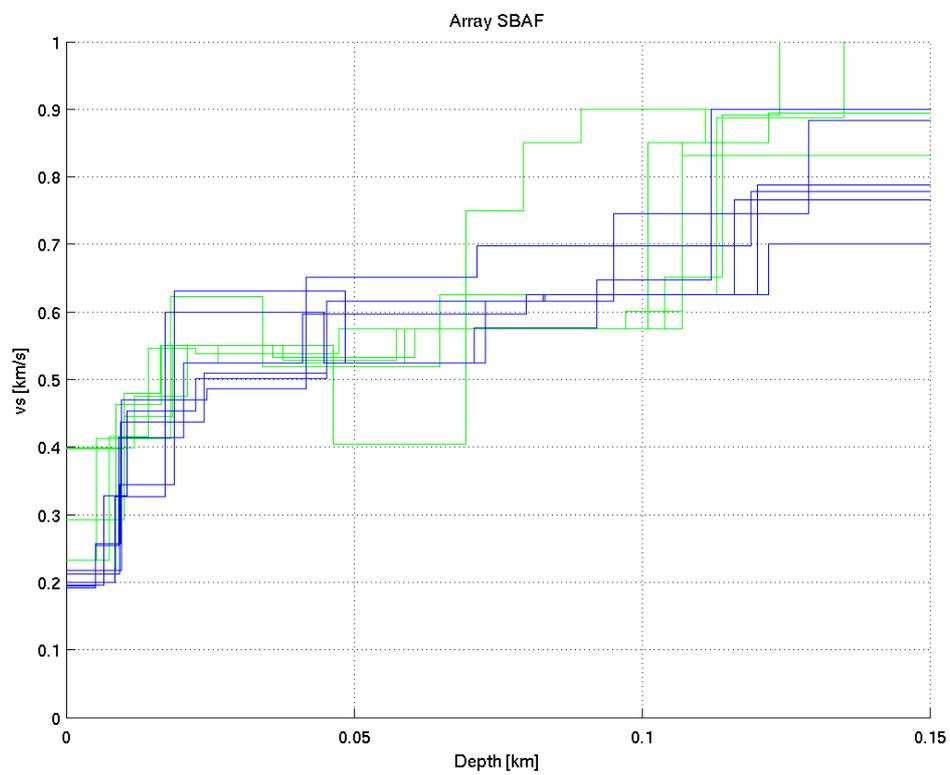
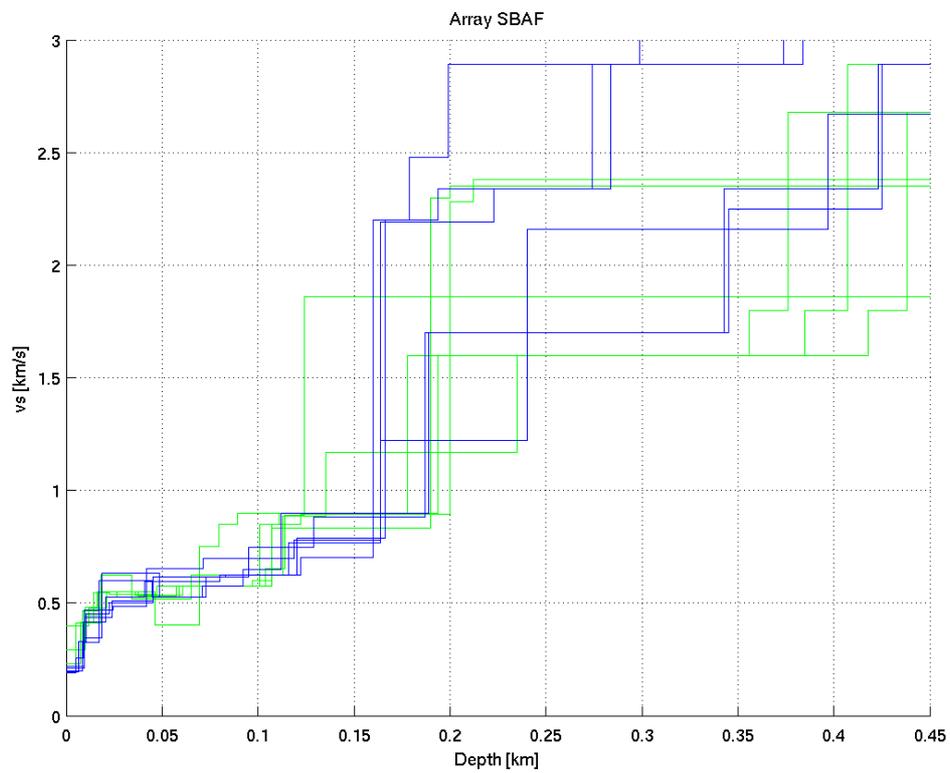


Abbildung 8. Invertierte S-Wellenprofile. Die blauen Strukturen entsprechen den bevorzugten Modellen, da ein Modensprung vermutet werden kann.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Inversion gezeigt. Die bevorzugten Modelle (blau) ergeben an der Oberfläche eine Schicht von ca. 8-10m Mächtigkeit mit einer mittleren S-Wellengeschwindigkeit von 190-240 m/s. Diese erste Schicht ist jedoch aufgrund der limitierten Phasengeschwindigkeitswerte gegen hohe Frequenzen nicht gut aufgelöst. Diese erste Schicht wird durch Niederterrassenschotter ausgemacht, bestehend aus Kies und Sand, welche z.T. zu Nagelfluhbänken verkittet sind. Der Grundwasserspiegel liegt in ca. 6m Tiefe.

Im Tiefenbereich von ca. 10 m ist der geologische Fels erreicht (Melettaschichten, Härteklasse 1). Für die ersten 10m der verwitterten Melettaschicht liegt die mittlere S-Wellengeschwindigkeit im Bereich von 350-500 m/s. Danach steigt die S-Wellengeschwindigkeit auf 500-600 m/s (Schichtmächtigkeit ca. 40m). Zwischen 60m und 100m Tiefe liegt der mittlere Wert bei 600 bis 700m/s. In grösseren Tiefen ab ca. 100m steigt die mittlere S-Wellengeschwindigkeit auf 700-900m/s. In ca. 150-180m 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

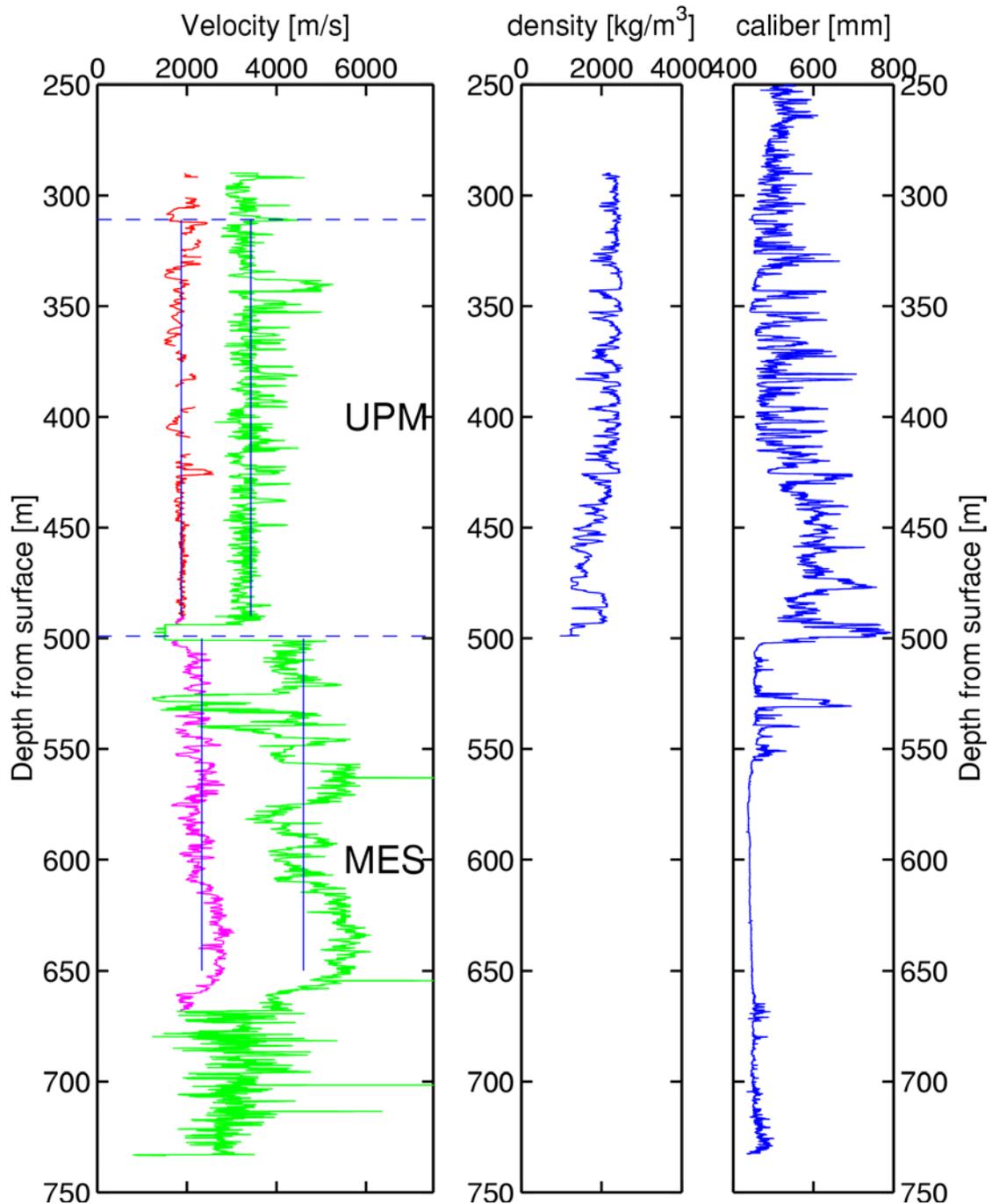


Abbildung 9. Im Bohrloch der Geothermie-Bohrung Otterbach wurden in einem Tiefenbereich zwischen 300 und 650m Sonic-Log-Messungen durchgeführt (GPI, 2001). Die gezeigten tieferen Werte sind S-Wellengeschwindigkeiten, die höheren P-Wellengeschwindigkeiten. Vertikale Linien zeigen mittlere Werte (GPI,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

## Referenzen

- 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.
- 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.
- 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 SBAF

Koordinaten: 611543 / 270349  
 Höhe über Meer: 250m  
 Grundwasserstand: 244m. ü. M

---

----- Bohrung BS-9.Z.1067 -----  
 Angaben Niederterrasse

----- Bohrung BS-9.P.759 -----  
 Angaben Meletta Schichten

---

## Quartär

Pleist. 0.00 bis 7.00 Niederterrassenschotter /  
 Kies, grosse Steine, sehr viel Schlemmsand

7.00 bis 10.00 Niederterrassenschotter /  
 Kies, grob locker, viel Schlemmsand

----- Bohrtiefe BS-9.Z.1067-----

10.00 bis 11.10 Niederterrassenschotter

---

## Tertiär

Oligo. 11.10 bis 18.15 Meletta Schichten /  
 tonige Mergel, manchmal etwas siltig oder feinsandig

18.15 bis 19.30 Meletta Schichten /  
 toniger Mergel, grau mit sandigen Lagen

19.30 bis 20.00 Meletta Schichten /  
 toniger Mergel, grau, sehr homogen

20.00 bis 22.20 Meletta Schichten /  
 siltig-tonige Mergel mit sandigen Lagen

22.20 bis 27.30 Meletta Schichten /  
 siltig-toniger Mergel, grau

27.30 bis 28.20 Meletta Schichten /  
 siltig-toniger Mergel mit Feinsand und Kohlereste

28.20 bis 33.10 Meletta Schichten /  
 siltig-toniger Mergel, grau

33.10 bis 35.10 Meletta Schichten /  
 feingebänderter Mergel: Ton, Silt und Kohlereste

----- Bohrtiefe BS-9.P.759 -----

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

---

Kreide

nicht vorhanden

---

Jura

Malm

Dogger

Top Lias

827.00 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.

1199.00 fein- bis grobkörniger Sandstein  
**(Lage gemäss korrigiertem 3D Modell Region Basel)**

Appendix B: F-K Analyse für die Arraykonfigurationen

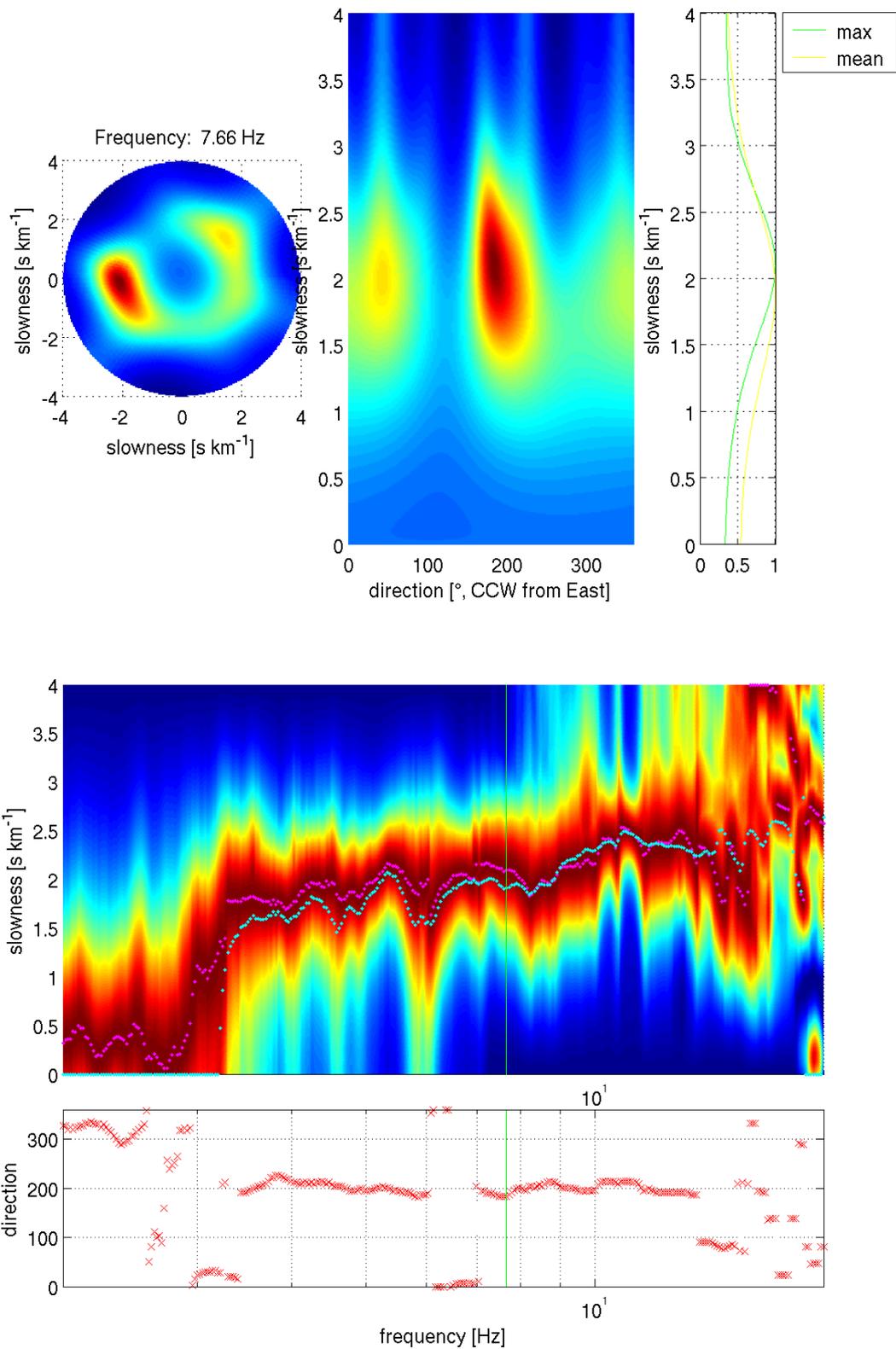


Abbildung B.1. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 20 m Radius.

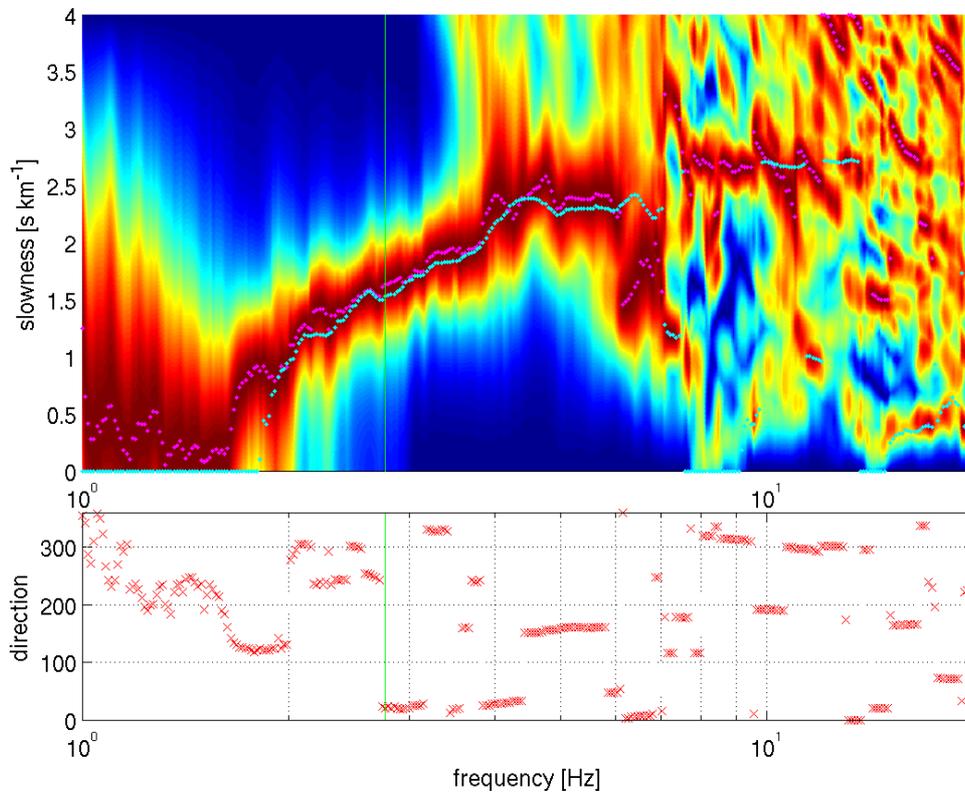
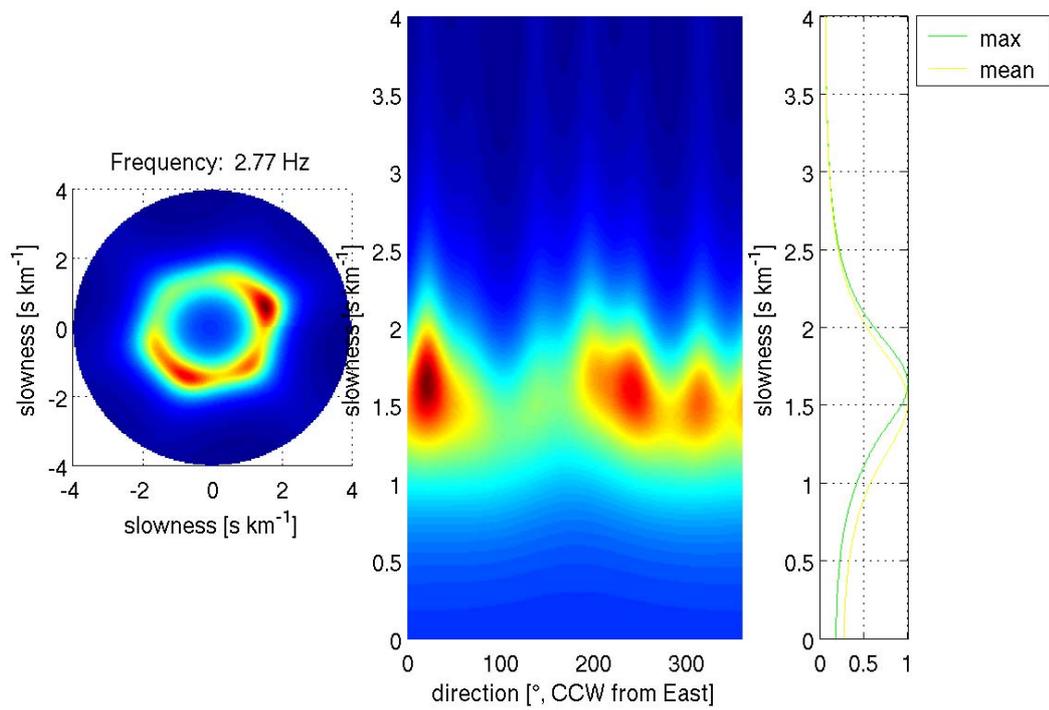


Abbildung B.2. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 50 m Radius.

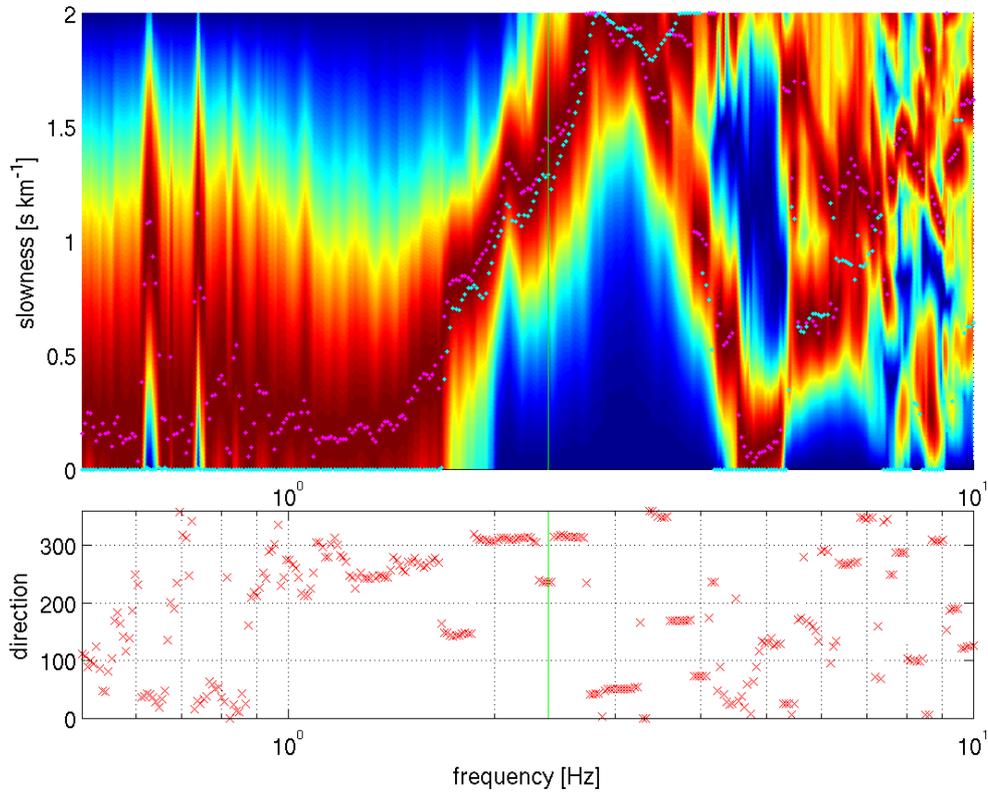
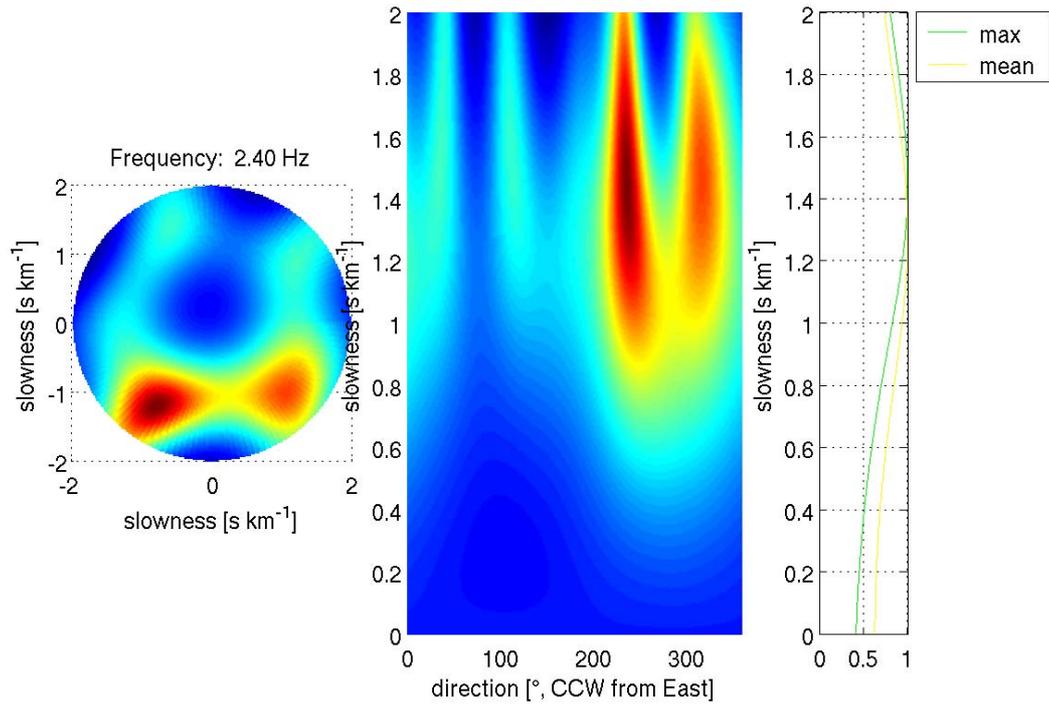


Abbildung B.3. : F-K Analyse und Dispersionskurve für Ring mit 100 m Radius.

## Appendix C: Mögliche Strukturen am Standort SBAF

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)
0.95472E-02	0.18000E+01	0.84678E+00	0.59047E-02	0.21667E+00	0.46153E-01
0.14968E-01	0.19000E+01	0.12714E+01	0.39327E-02	0.47005E+00	0.21275E-01
0.17154E-01	0.19000E+01	0.14944E+01	0.33458E-02	0.48599E+00	0.20577E-01
0.29704E-01	0.20000E+01	0.15779E+01	0.31687E-02	0.65141E+00	0.15351E-01
0.47485E-01	0.22000E+01	0.23720E+01	0.21079E-02	0.69800E+00	0.14327E-01
0.45509E-01	0.22000E+01	0.27413E+01	0.18239E-02	0.77832E+00	0.12848E-01
0.75593E-01	0.23000E+01	0.30216E+01	0.16547E-02	0.12202E+01	0.81953E-02
0.15709E+00	0.23000E+01	0.41212E+01	0.72794E-03	0.21620E+01	0.46253E-02
	0.23000E+01	0.46204E+01	0.64930E-03	0.26676E+01	0.37487E-02

### 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)
0.50085E-02	0.18000E+01	0.12895E+01	0.38775E-02	0.19133E+00	0.52265E-01
0.40933E-02	0.19000E+01	0.16995E+01	0.29420E-02	0.25445E+00	0.39301E-01
0.11254E-01	0.19000E+01	0.17866E+01	0.27987E-02	0.41374E+00	0.24170E-01
0.20600E-01	0.20000E+01	0.19261E+01	0.25959E-02	0.52477E+00	0.19056E-01
0.38914E-01	0.22000E+01	0.26912E+01	0.18579E-02	0.59691E+00	0.16753E-01
0.35636E-01	0.22000E+01	0.27474E+01	0.18199E-02	0.62501E+00	0.16000E-01
0.48087E-01	0.23000E+01	0.30466E+01	0.16412E-02	0.76596E+00	0.13055E-01
0.59819E-01	0.23000E+01	0.43779E+01	0.68526E-03	0.21889E+01	0.45684E-02
	0.23000E+01	0.46416E+01	0.64633E-03	0.23373E+01	0.42785E-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)
0.84113E-02	0.18000E+01	0.94986E+00	0.52639E-02	0.20025E+00	0.49936E-01
0.87949E-02	0.19000E+01	0.16822E+01	0.29723E-02	0.32688E+00	0.30592E-01
0.27455E-01	0.19000E+01	0.17890E+01	0.27949E-02	0.59960E+00	0.16678E-01
0.28247E-01	0.20000E+01	0.26941E+01	0.18559E-02	0.52490E+00	0.19051E-01
0.22135E-01	0.22000E+01	0.27322E+01	0.18300E-02	0.61556E+00	0.16245E-01
0.33669E-01	0.22000E+01	0.27406E+01	0.18244E-02	0.74525E+00	0.13418E-01
0.58621E-01	0.23000E+01	0.30492E+01	0.16398E-02	0.88392E+00	0.11313E-01
0.15591E+00	0.23000E+01	0.34025E+01	0.88171E-03	0.17012E+01	0.58781E-02
	0.23000E+01	0.46500E+01	0.64516E-03	0.23397E+01	0.42740E-02