

# Zum Problem der Modenidentifikation in der Flachseismik

Thomas Forbriger

22. Oktober 1996

Kolloquium „Seismik im Flachbereich“  
Bucha/Sachsen

Auf der Suche nach einem Startmodell für die Anpassung synthetischer Seismogramme an Daten aus der Flachseismik liegt es nahe, neben den Laufzeitkurven der Ersteinsätze auch die in den Oberflächenwellen enthaltene Dispersion zur Interpretation heranzuziehen. Dies kann durch Anpassung theoretisch ermittelter Eigenschwingungen an die gemessene Dispersionsstruktur erfolgen. Dabei wird die Frage aufgeworfen, welcher Teil der theoretischen Dispersionskurven sich in den realen Daten abbildet.

Abbildung 1 zeigt Dispersionskurven für Eigenschwingungen eines fiktiven, eindimensional strukturierten Mediums. Über der horizontalen Phasen-Langsamkeit und der Frequenz ist das Vorzeichen der Rayleigh-Determinante aufgetragen, welche mit einem Schwab-Knopoff-Algorithmus [7] berechnet wurde. Überall dort, wo eine graue an eine weiße Fläche stößt, befindet sich eine Nullstelle der Determinante und damit eine Eigenschwingung des Mediums. Auffällig ist eine Stelle bei etwa 55Hz und  $0.8 \frac{s}{km}$ . Dort kommen sich zwei Modenäste sehr nahe. Die Fläche, welche durch die Rayleigh-Determinante aufgespannt wird, hat dort einen Sattelpunkt in der Nähe des Nulldurchgangs.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen Dispersionsanalysen von synthetischen Seismogrammen für dasselbe Medium. Die Seismogramme wurden mit der Reflektivitätsmethode [4] für eine vertikale Einzelkraft-Punktquelle berechnet. Am Sattelpunkt läßt sich der Verlauf der aus den Seismogrammen der Vertikal-

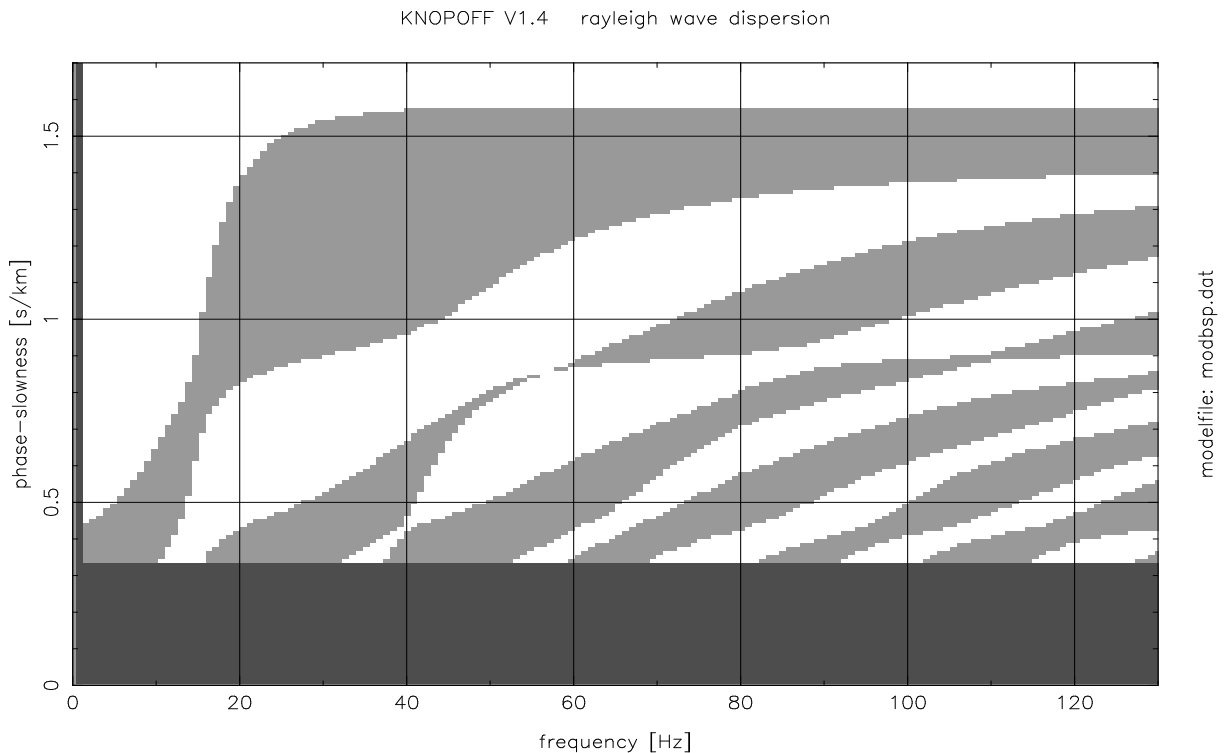


Abbildung 1: Schwab-Knopoff-Muster der Eigenschwingungen für ein fiktives Medium

phase–slowness/frequency – plot of modbsp.v.slf

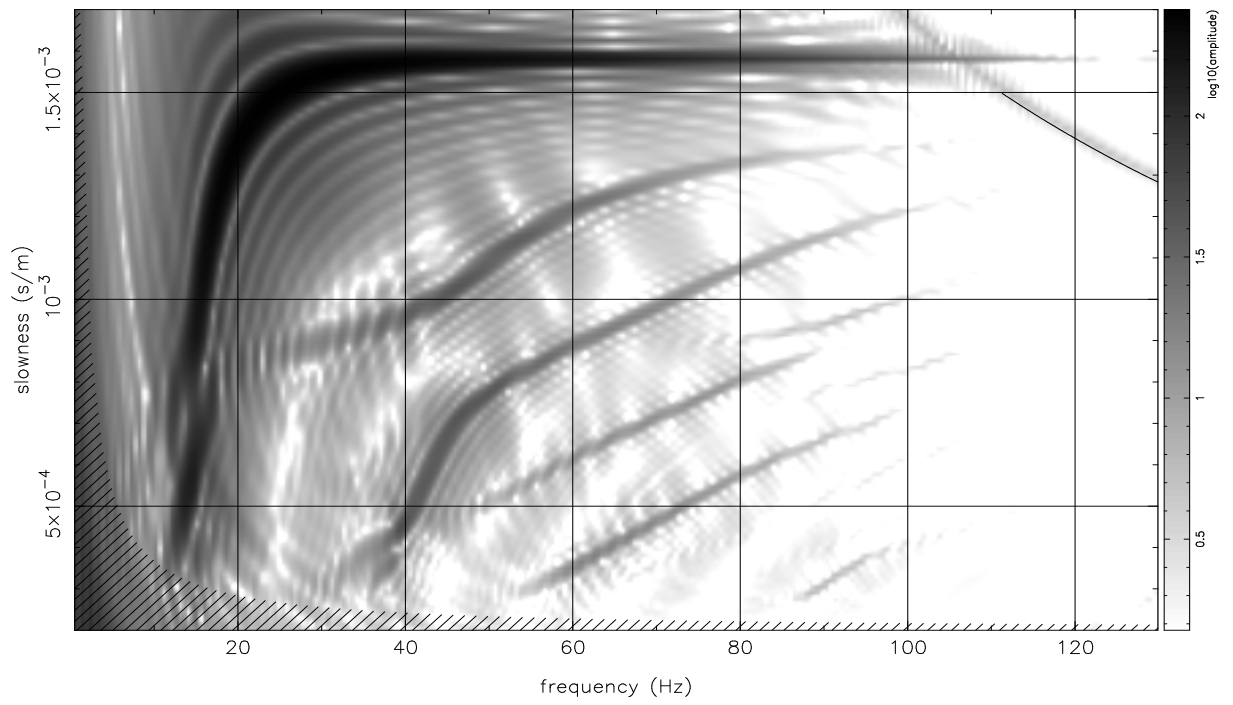


Abbildung 2: Dispersionsanalyse synthetischer Seismogramme der Z-Komponente

phase–slowness/frequency – plot of modbsp.h.slf

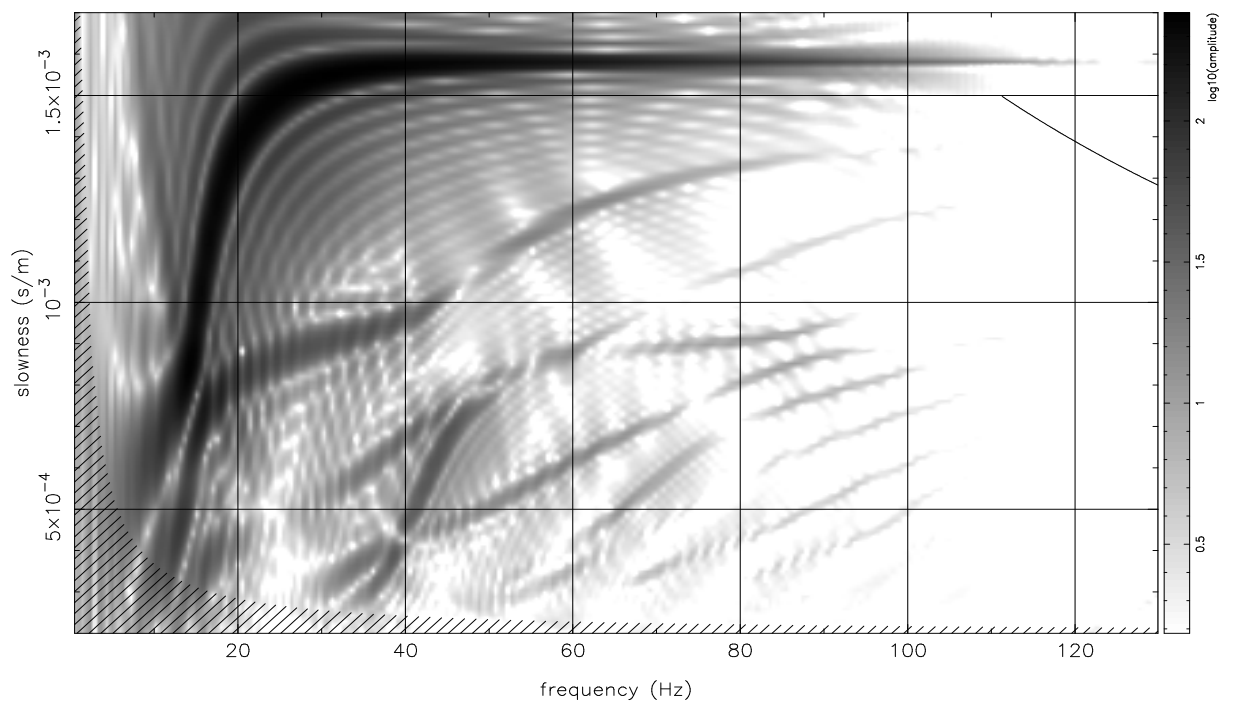


Abbildung 3: Dispersionsanalyse synthetischer Seismogramme der Radial-Komponente

komponente ermittelten Dispersionsstrukturen nicht mit dem klassischen Begriff der Moden in Einklang bringen. Die in den Seismogrammen enthaltene Energie wechselt von einer Mode zu einer anderen. Jeweils eine Hälfte der Modenäste trägt keine seismische Energie.

Die aus den Radial-Komponenten ermittelte Dispersionsstruktur gibt die Eigenschwingungen vollständig wieder.

## Voraussetzungen für das Auftreten von Sattelpunkten

Stellen, an denen sich zwei Modenäste sehr nahe kommen, werden meistens dann beobachtet, wenn die P-Wellen-Geschwindigkeit einer Schicht eine ähnliche Größe erreicht wie die S-Wellen-Geschwindigkeit einer benachbarten Schicht. Die Schichtgeschwindigkeiten müssen nicht identisch sein. Die Schichten müssen nicht direkt aneinander stoßen und können leichte Geschwindigkeitsgradienten enthalten. Auch Berührungen zwischen Fundamentalmode und erster höherer Mode können in realistischen Modellen zustande kommen.

Die Artikel von Buchen und Ben-Hador [1], Friederich und Dalkolmo [3] und Nolet und Dorman [5] zeigen Beispiele aus der globalen Seismologie, die in diesen Arbeiten jedoch nicht hinsichtlich der Sattelpunkte diskutiert werden.

## Die Natur der Sattelpunkte

Die Modenäste berühren sich an den Sattelpunkten nicht ganz. Doppelte Nullstellen konnten bisher nicht gefunden werden. An einer doppelten Nullstelle der Rayleigh-Determinante wären zwei Moden entartet. Die Lage der Modenäste an den Sattelpunkten kommt einer Entartung jedoch sehr nahe.

Eine kleine Änderung des Absolutwertes der Rayleigh-Determinante würde ausreichen, um einen Vorzeichenwechsel des Sattelpunktes zu bewirken. In diesem Fall würde der klassische Modenbegriff zusammenbrechen, da die Isolinien der Nulldurchgänge am Sattelpunkt einen völlig anderen Verlauf bekämen. Ein solches Verhalten konnte durch Veränderungen am Modell des seismischen Mediums bisher nicht provoziert werden.

Häufig fallen die Dispersionskurven an Sattelpunkten mit Kurven konstanter Gruppengeschwindigkeit zusammen, welche sich kreuzen. Die Struktur in Abbildung 2 folgt einer solchen Kurve. Okal [6] schlägt vor, Eigenschwingungen der Erde nach ihrem physikalischen Charakter und nicht nach abstrakten Gesichtspunkten zu Moden zusammenzufassen. Die Dispersionsstruktur der synthetischen Seismogramme legt dies ebenfalls nahe.

## Folgerungen und offene Fragen

Die geschilderten Beobachtungen zeigen, daß auch die in Seismogrammen häufig ausgeprägt auftretende Grundmode nicht identisch mit dem Verlauf der Fundamentalmode eines anzupassenden Modells sein muß. Die Interpretation von Dispersionsstrukturen verlangt eine Loslösung vom klassischen Modenbegriff. Es darf lediglich verlangt werden, daß ein anzupassendes Modell Eigenschwingungen des Mediums in dem Bereich erzeugt, in denen große Amplituden der Oberflächenwellen beobachtet werden.

Zu einem weiteren Verständnis der Bedeutung der Sattelpunkte könnte eine Betrachtung der vertikalen Eigenfunktionen führen. Welche Bedeutung die fast erreichte Entartung von Eigenfunktionen für die Wellenausbreitung hat, ist noch zu klären.

## Literaturverzeichnis

- [1] Buchen, P., Ben-Hador, R., 1996. Free-mode surface-wave computations, *Geophys. J. Int.*, **124**, 869–887.
- [2] Chen, X., 1993. A systematic and efficient method of computing normal modes for multilayered half-space, *Geophys. J. Int.*, **155**, 391–409.
- [3] Friederich, W., Dalkolmo, J., 1995. Complete synthetic seismograms for a spherically symmetric earth by a numerical computation of the Green's function in the frequency domain, *Geophys. J. Int.*, **122**, 537–550.

- [4] Müller, G., 1985. The reflectivity method: a tutorial, *J. Geophys.*, **58**, 153–174.
- [5] Nolet, G., Dorman, L.M., 1996. Waveform analysis of Scholte modes in ocean sediment layers, *Geophys. J. Int.*, **125**, 385–396.
- [6] Okal, E.A., 1978. A Physical Classification of the Earth's Spheroidal Modes, *J. Phys. Earth*, **26**, 75–103.
- [7] Schwab., F., Knopoff, L., 1972. Fast Surface Wave and Free Mode Computations, in 'Methods in Computational Physics', vol 11, ed. Bolt, B. A., Academic Press, New York, NY, 87–180.