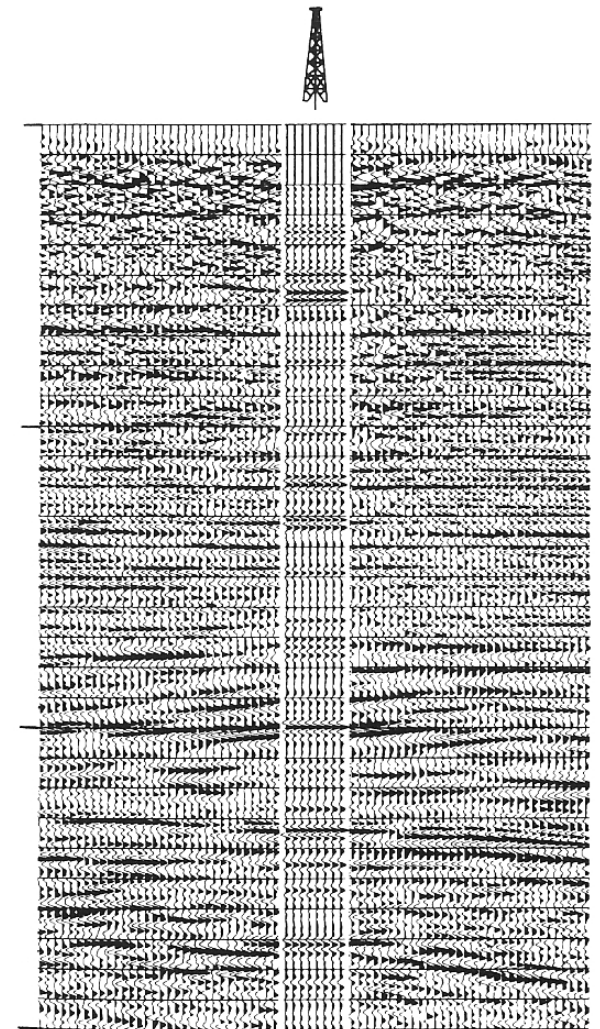
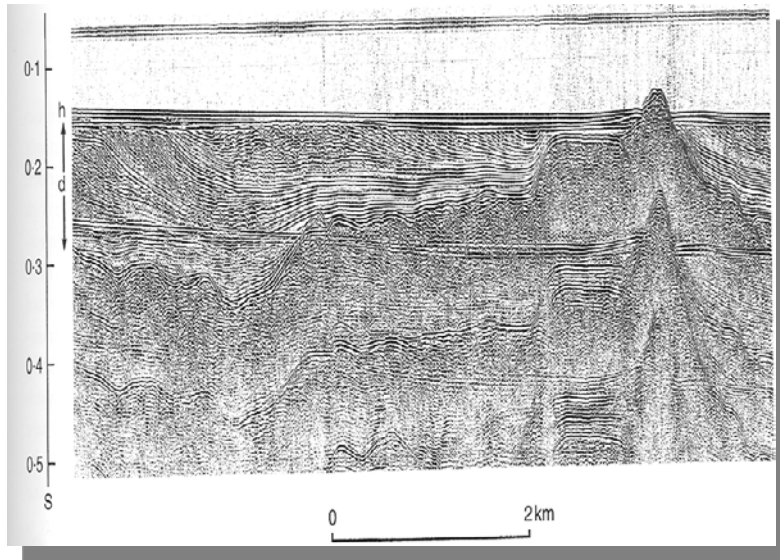
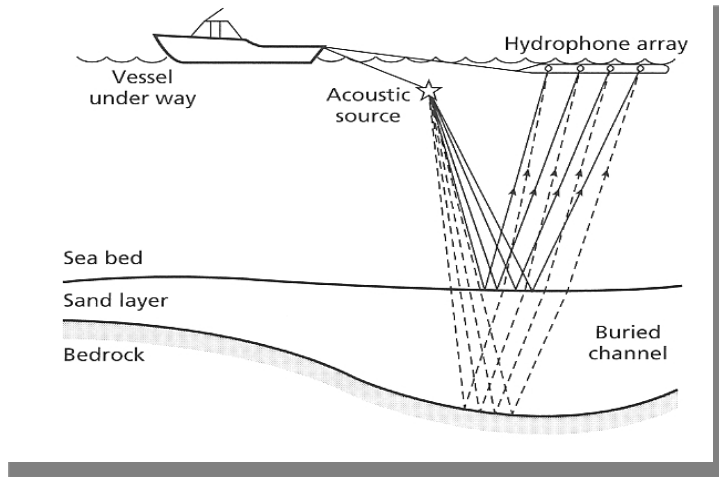


Reflexionsseismik

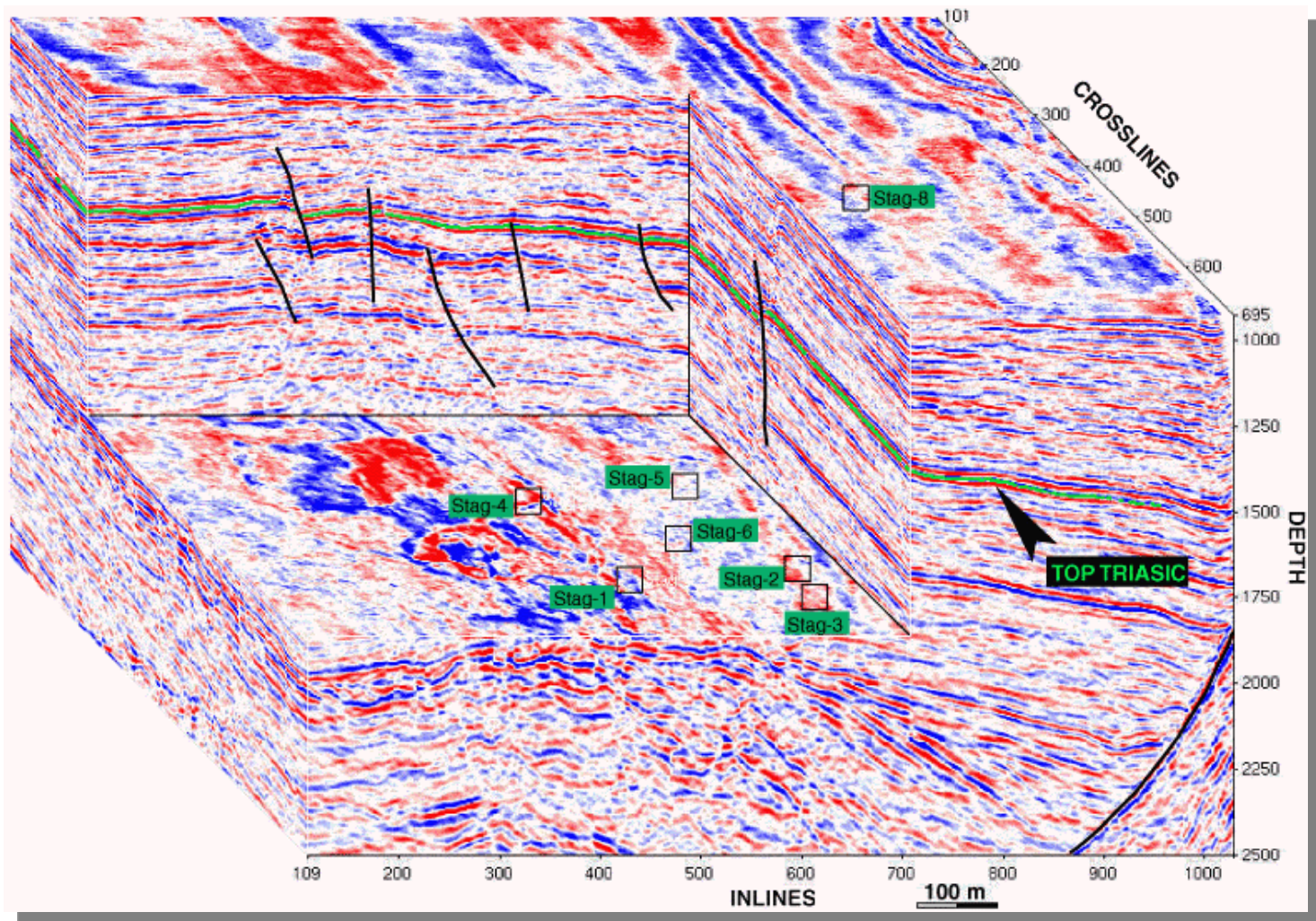
- **Reflektierte Strahlen**
 - Horizontale Reflektoren
 - Reflektor Sequenz
- **Reflexions-seismogramme**
 - Schussanordnungen
 - Common Mid-Point Anordnung
- **Korrekturen und Filterung**
- **Migration von Reflexionsdaten**
- **Interpretation**
 - Strukturanalyse
 - Stratigraphie

Literatur: Mussett, Kapitel 7; Keary, Kapitel 4

Vom seismischen Experiment zum Bohrloch



Migrierte 3D Sektion

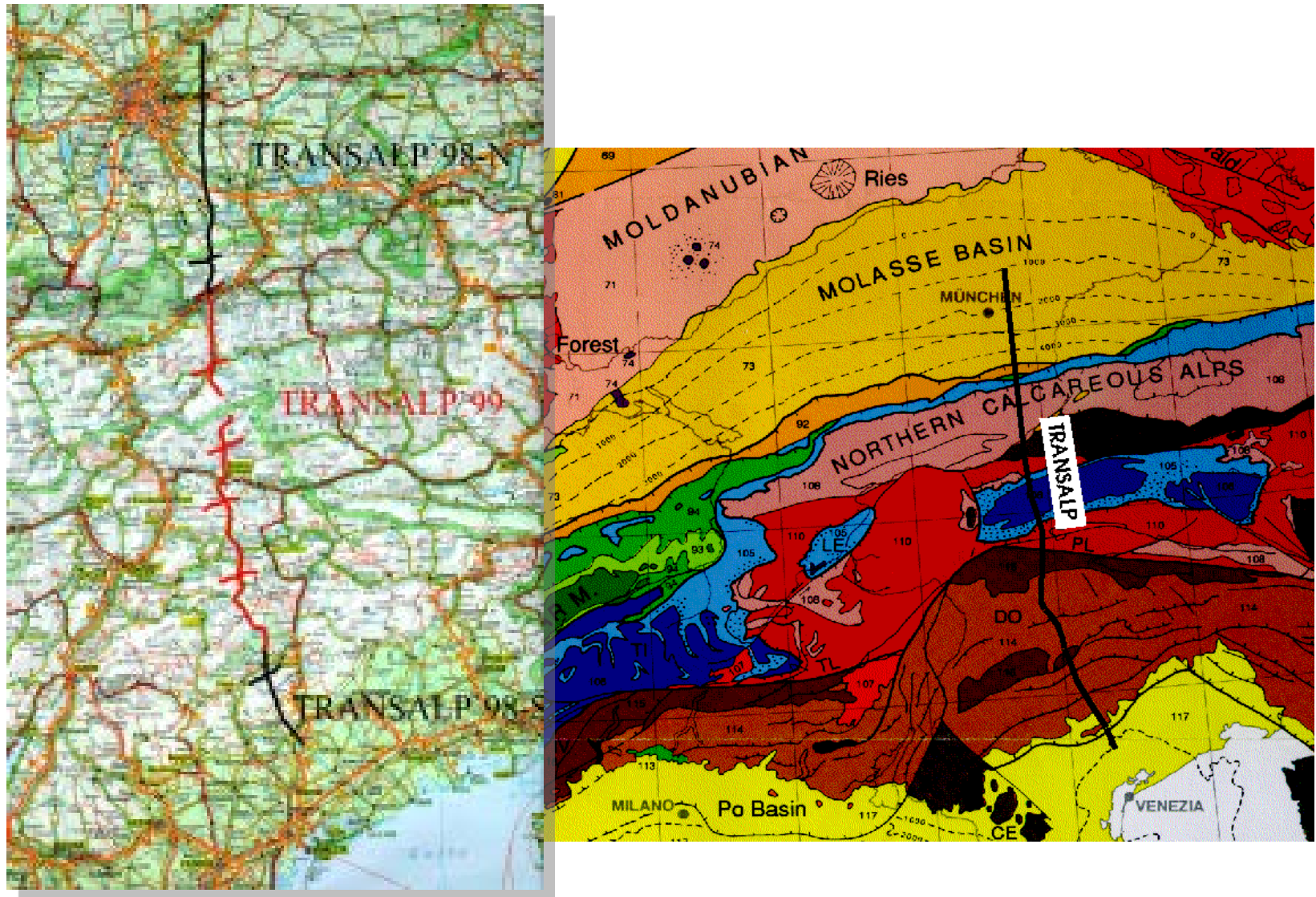


Reflexionsseismik

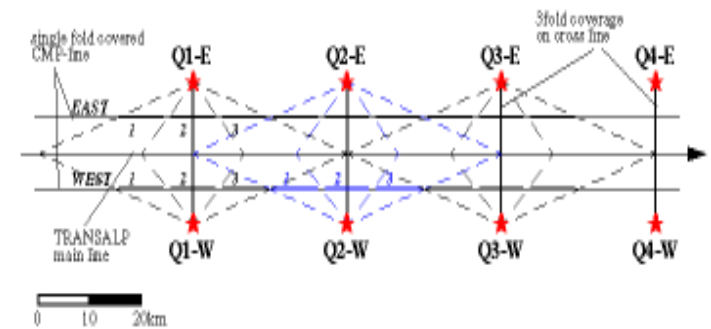
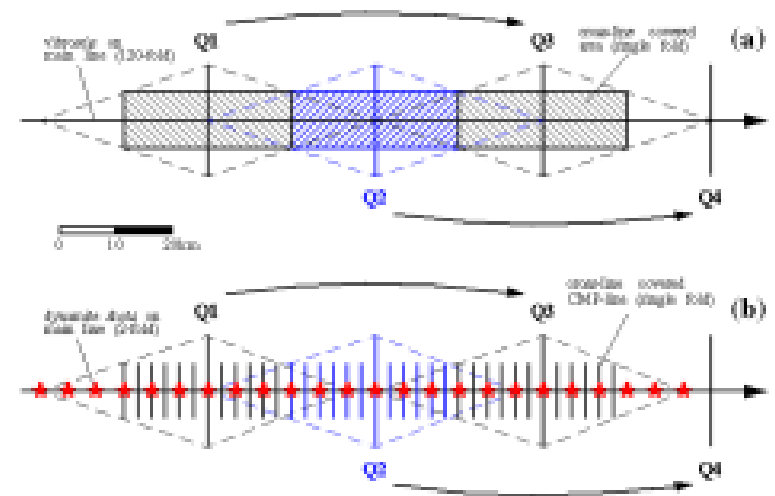
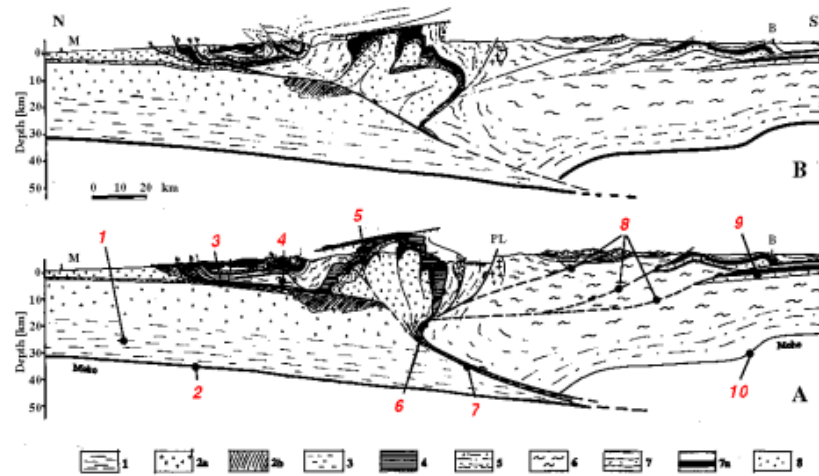
Die Reflexionsseismik ist das **meistgenutzte geophysikalische Messverfahren** !

- In vielen Fällen gilt die Annahme, dass das Medium geschichtet ist (von kleinen bis hin zu großen Raumskalen)
- Die rohen Daten können so verarbeitet werden, dass ein „Abbild“ des Untergrunds entsteht (Migration)
- Die Datenverarbeitung wird heutzutage mit dem Computer erledigt (nicht aber die Interpretation!)

Beispiel aus der Forschung: Transalp



Transalp



Nachuntersuchungen zu Sumatra (after Singh et al. *Leading Edge*)

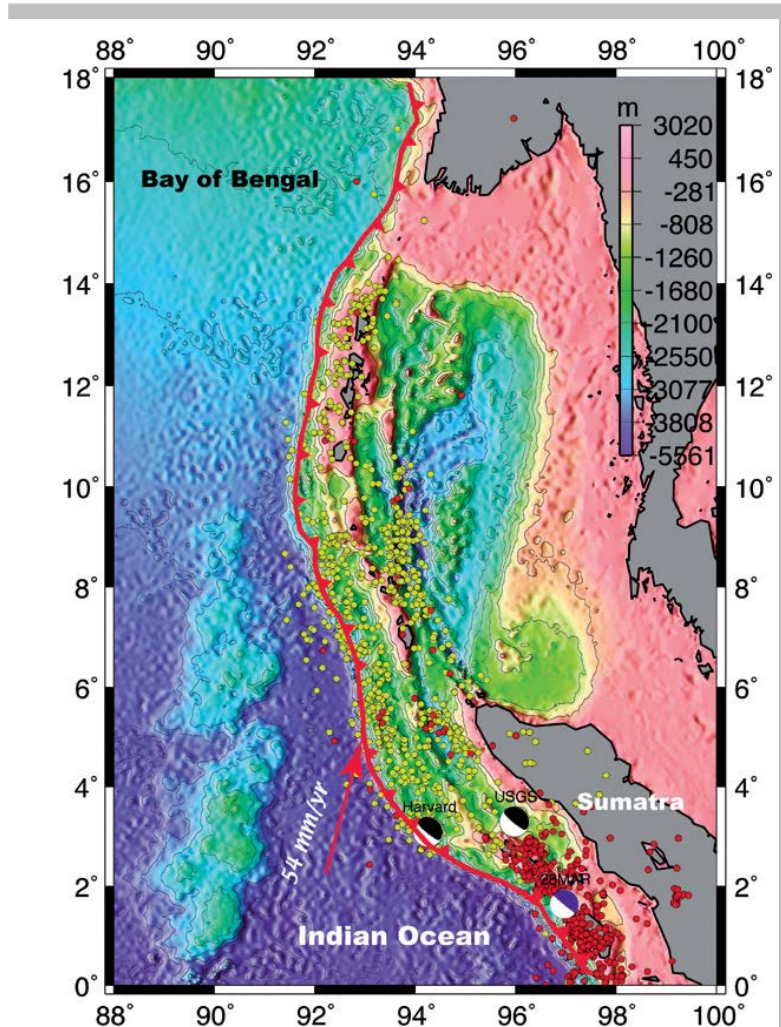
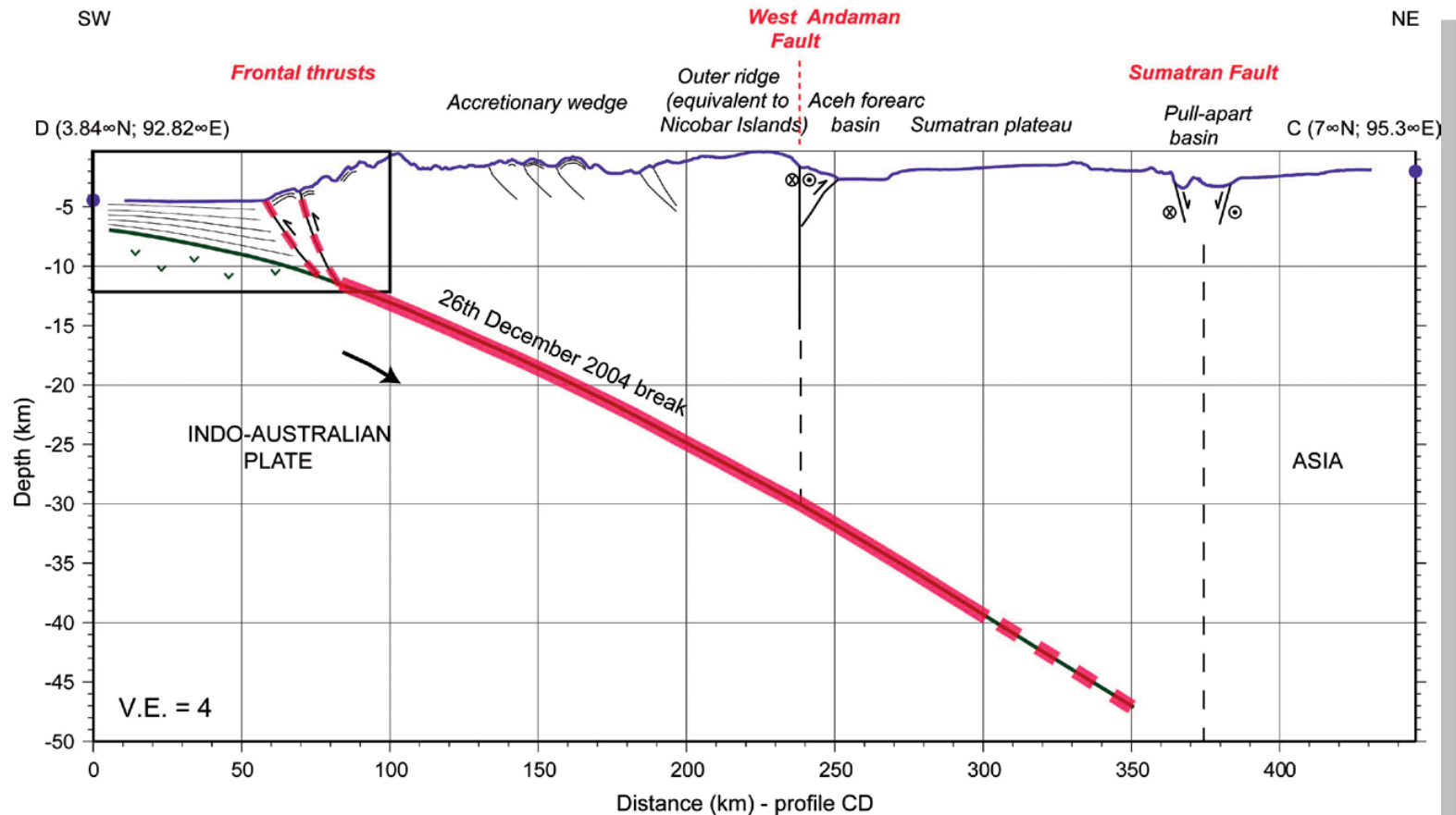
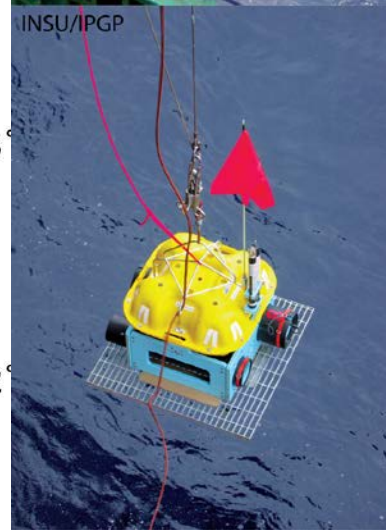
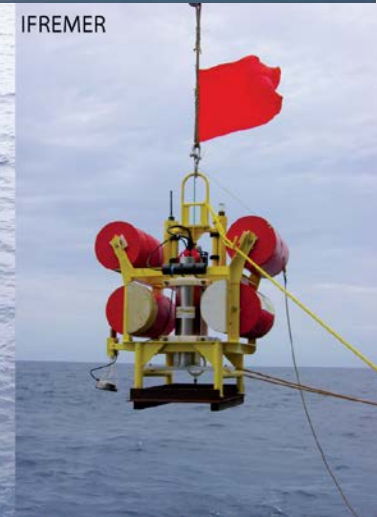
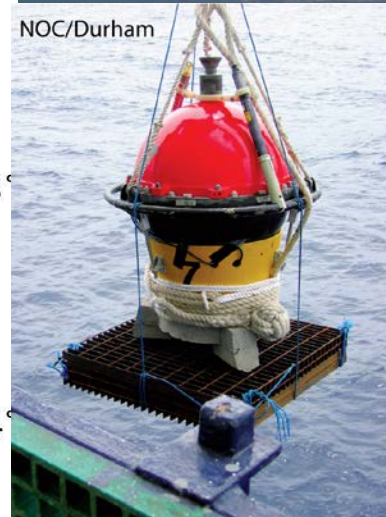
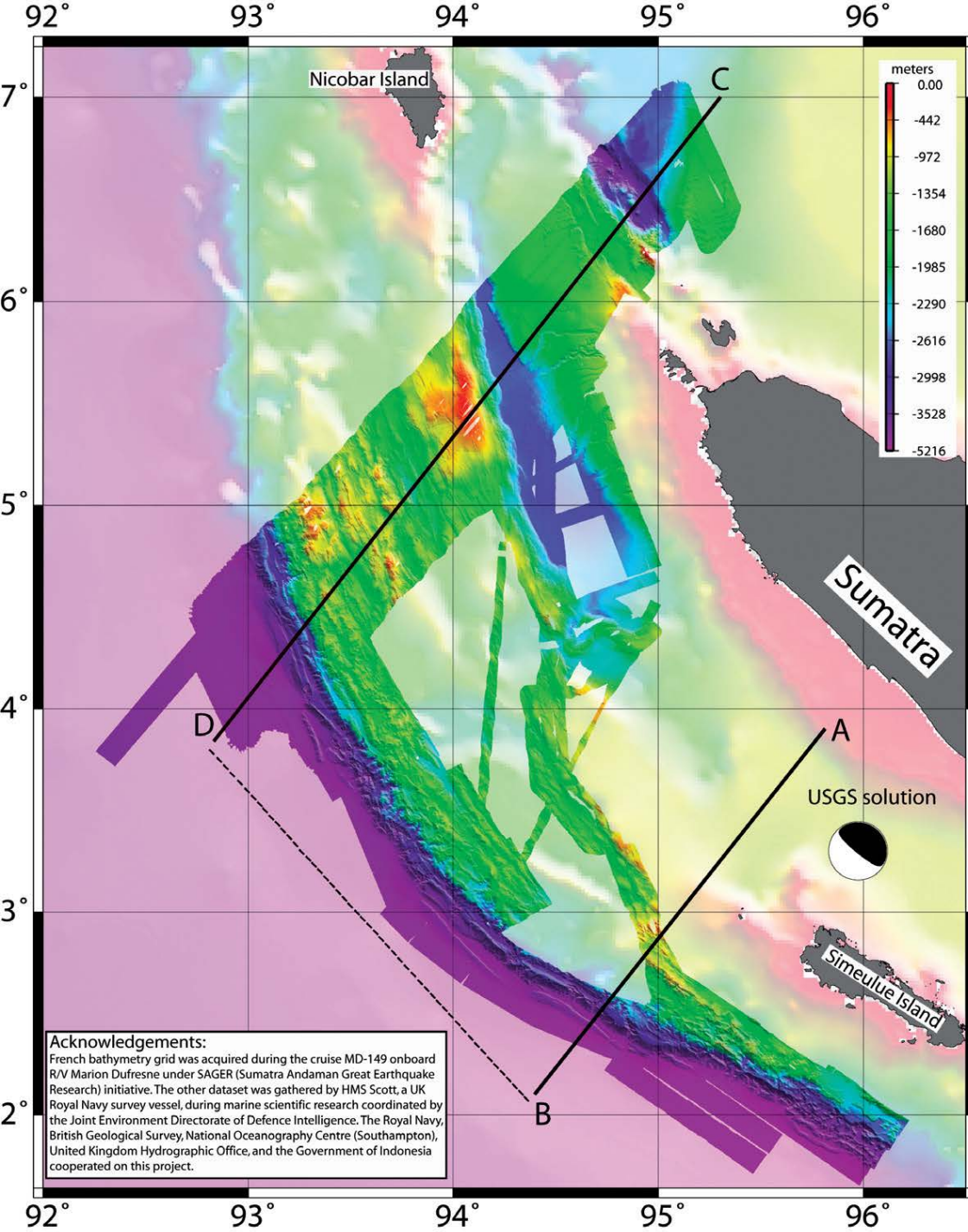
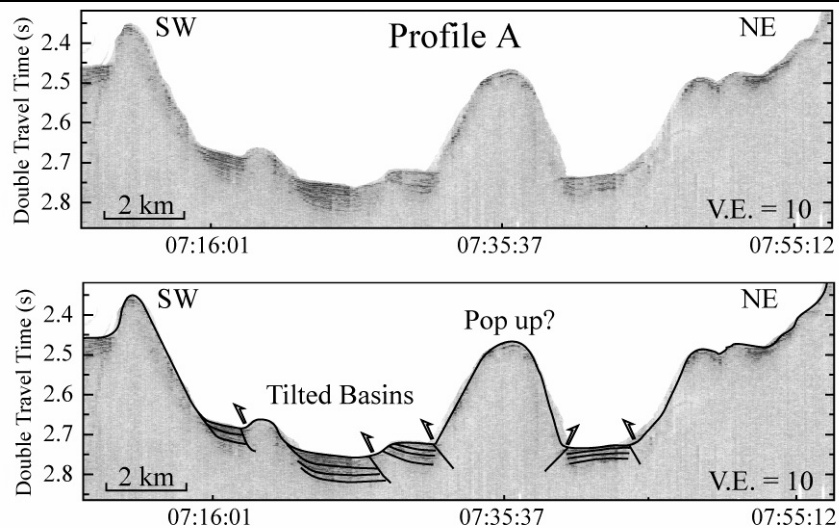


Figure 1 The epicentres and fault plane solutions of the 26 December 2004 and 28 March 2005 earthquakes. Yellow-coloured circles indicate the first 10 days of aftershocks following the 26 December 2004 earthquake. Red-coloured circles indicate the first 10 days of aftershocks following the 28 March 2005 event.

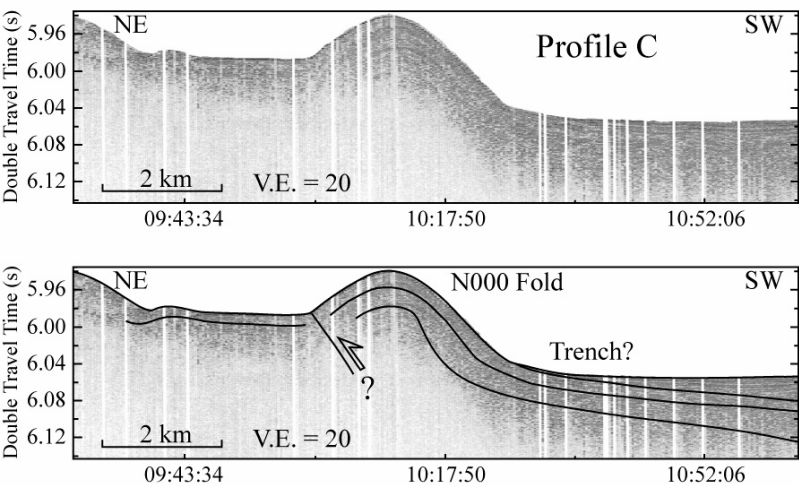
Fragestellung: Rissausbreitung zur Meeresoberfläche?



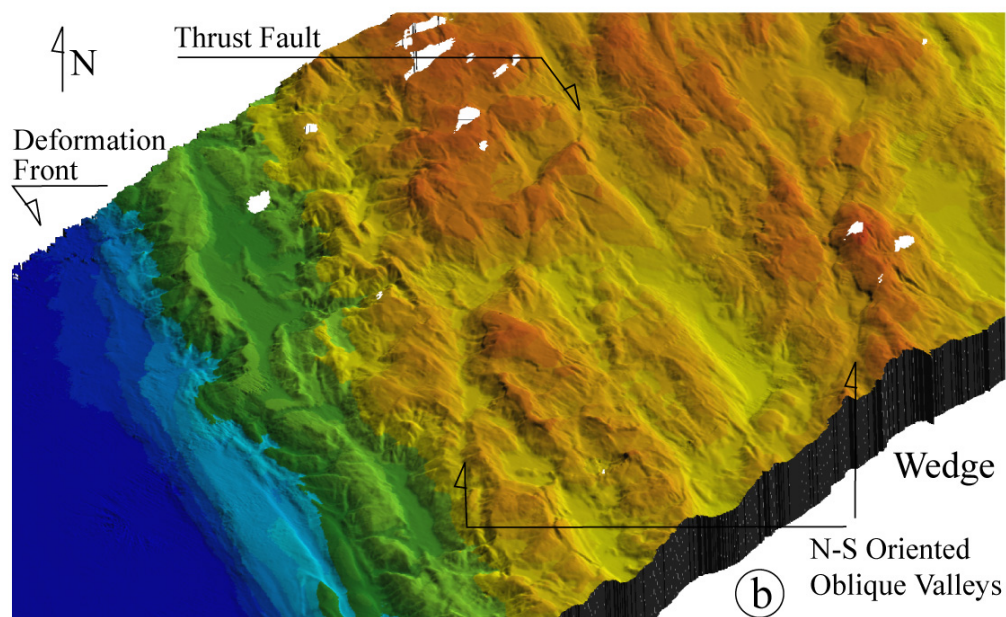
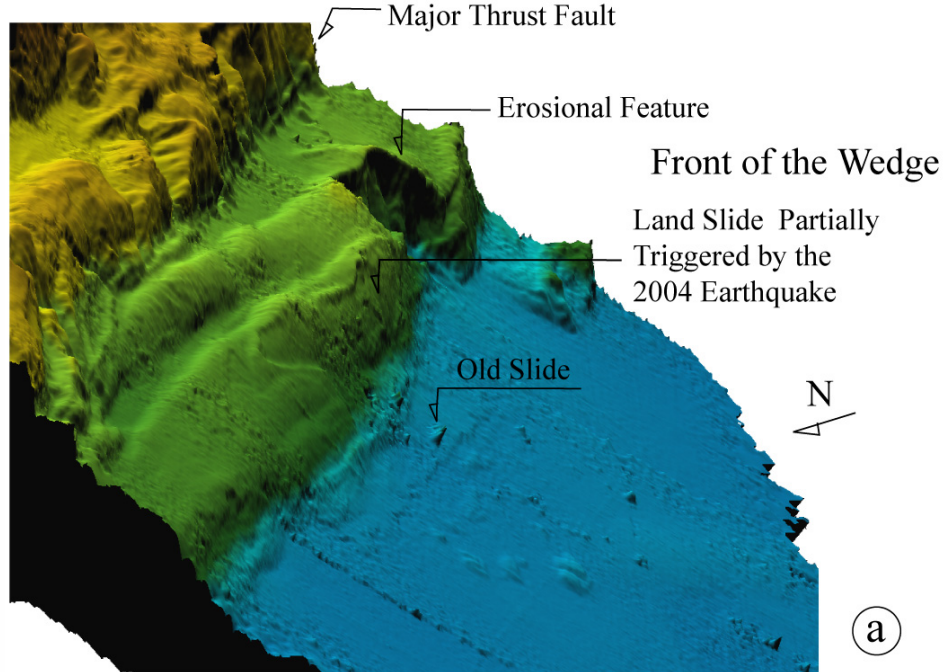




Sibuet et al., Figure 4



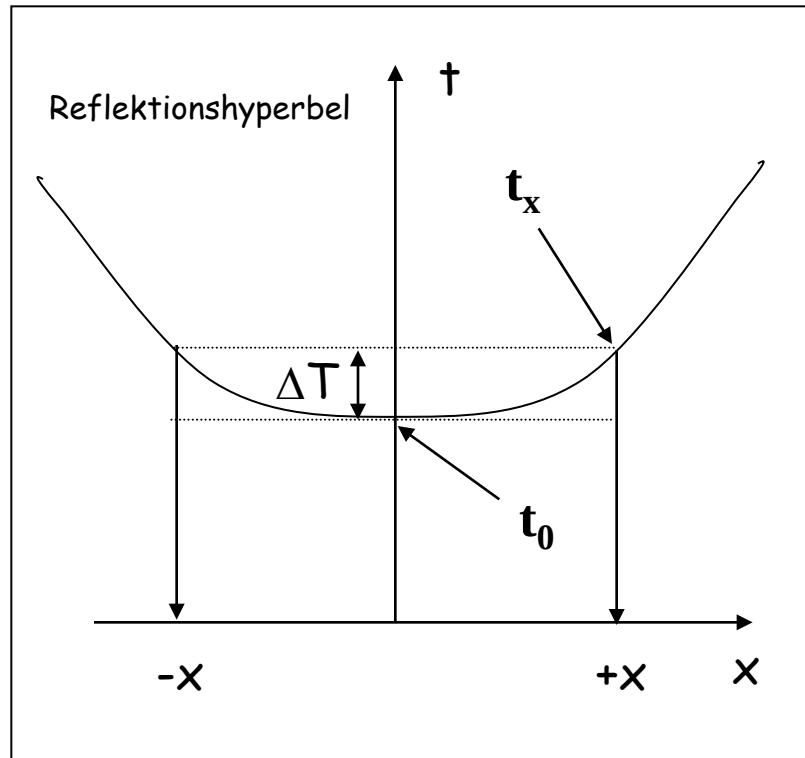
Sibuet et al., Figure 8



Sibuet et al., Figure 7

Laufzeit reflektierter Strahlen

Die Ankunftszeiten $t(x)$ der Reflexionen von der Schichtgrenze in der Tiefe z als Funktion vom Abstand x wird geschrieben als:



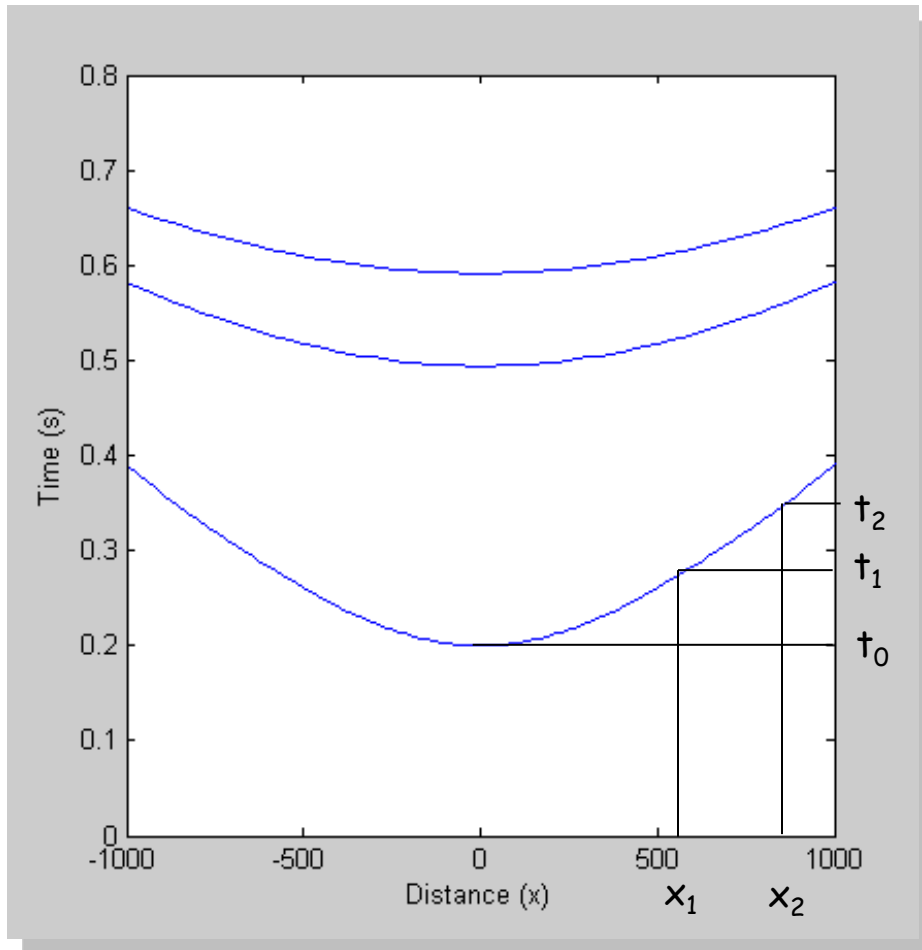
$$t(x) = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 + 4z^2}$$

$$t^2 = \frac{4z^2}{v^2} + \frac{x^2}{v^2} = t_0^2 + \frac{x^2}{v^2}$$

$$\Delta T = t_x - t_0 \approx \frac{x^2}{2V_{rms}^2 t_0}$$

Normal Moveout (NMO)

Laufzeit reflektierter Strahlen



$$t_2 - t_1 \approx \frac{x_2^2 - x_1^2}{2V_{rms}^2 t_0}$$

... oder ...

$$v \approx \sqrt{\frac{t_2^2 - t_1^2}{x_2^2 - x_1^2}}$$

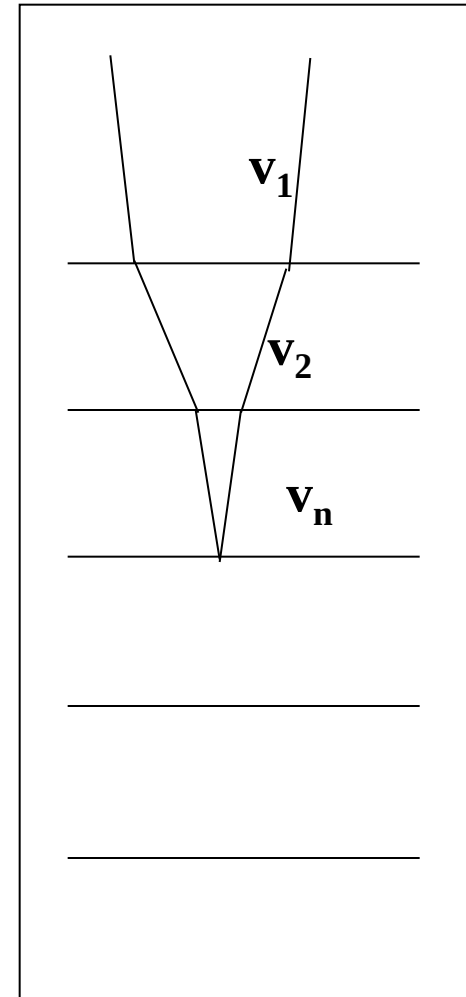
Methoden zur Bestimmung der Move-out Geschwindigkeiten

Reflektor Sequenz

Dix Formel

Der einzelne NMO kann dazu benutzt werden die rms-Velocity bis zu einer bestimmten Tiefe abzuschätzen, und
Geschwindigkeiten der Schichten v_n (Dix Formel) mit der Laufzeit am Punkt der Quelle t_n zu bestimmen.

$$v_n = \left[\frac{V_{rms,n}^2 t_n - V_{rms,n-1}^2 t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right]^{1/2}$$



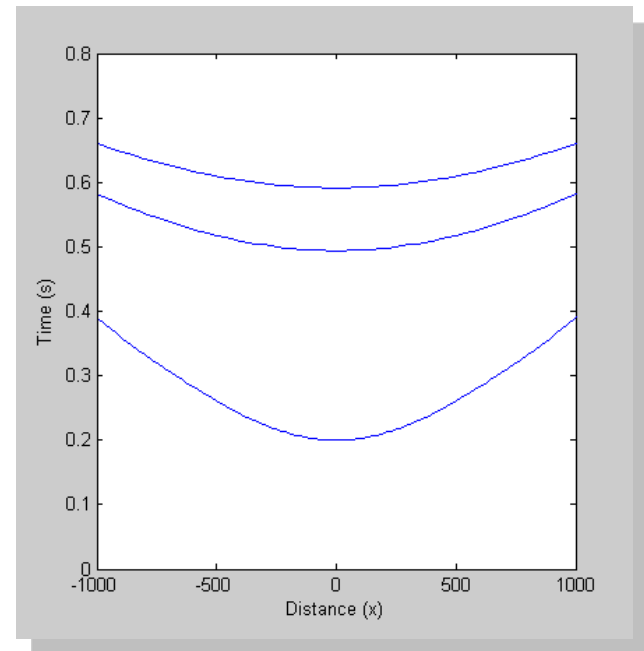
Reflektor Sequenz

Dix Formel

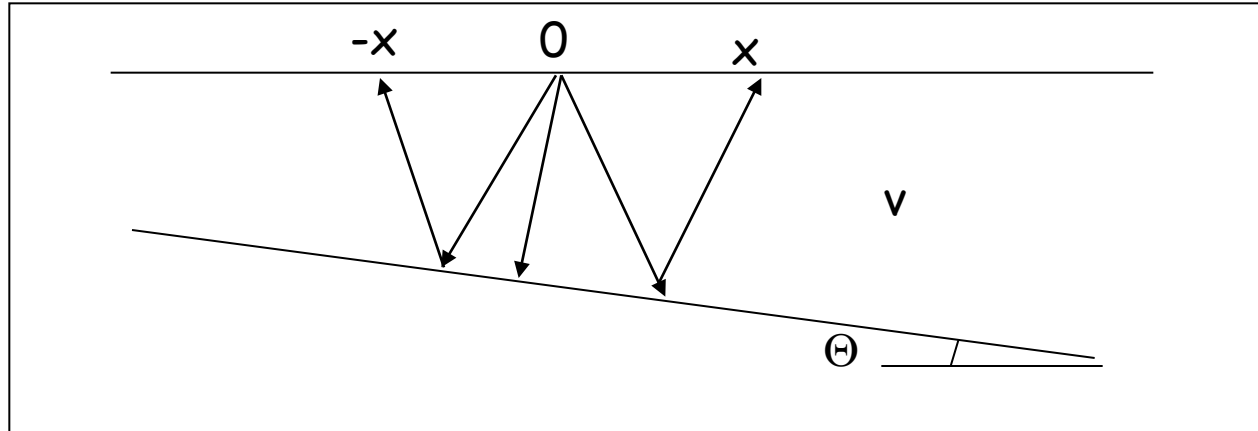
$$v_n = \left[\frac{V_{rms,n}^2 t_n - V_{rms,n-1}^2 t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right]^{1/2}$$

Vorgehensweise:

1. Bestimmen der rms-Geschwindigkeiten (v_{rms}) für jede Reflexion zB mit t^2-x^2
2. Ablesen der zero-offset Ankunftszeiten jeder Reflexion t_n
3. Bestimmen von $v_1 = v_{rms,1}$
4. Berechnen von v_n für $n > 1$ über Formel.
5. Berechnen der Schichtdicken aus Differenzzeiten der Reflexionen am Nullpunkt.



Schräge Schichtung – Dip-Moveout



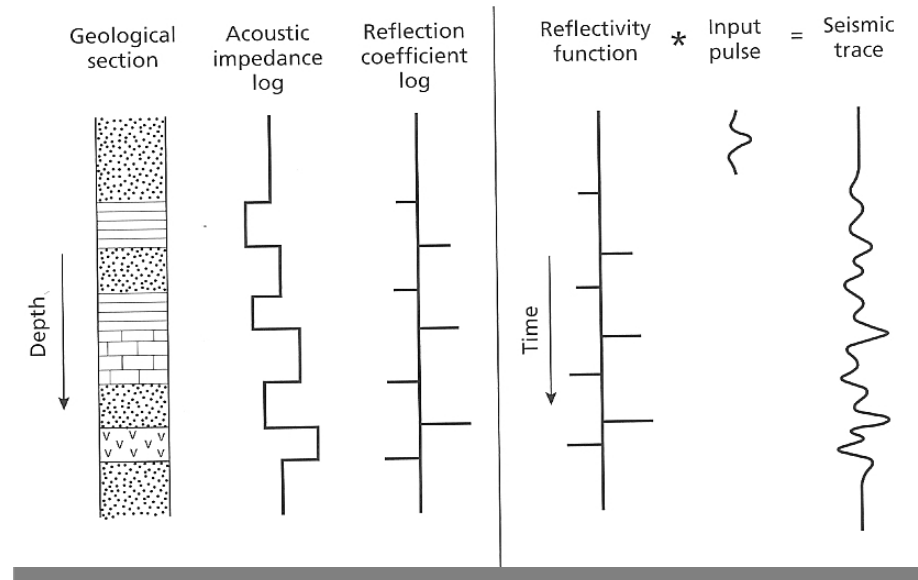
Ein nicht horizontaler Reflektor führt zu einer asymmetrischen Verteilung der Ankunftszeiten rechts und links vom Schusspunkt. Der **Dip-Moveout** wird definiert als die Differenz der Laufzeiten bei $-x$ und x : Bei bekannter Geschwindigkeit v kann der Winkel Θ bestimmt werden:

$$\Delta T_d = t_x - t_{-x}$$

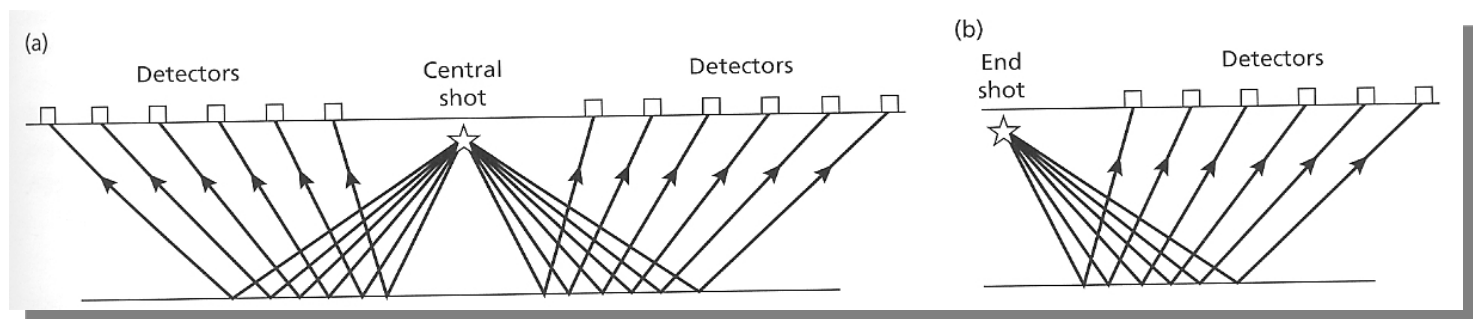
$$\Delta T_d = 2x \sin \Theta / V$$

$$\Theta \approx V \Delta T_d / (2x)$$

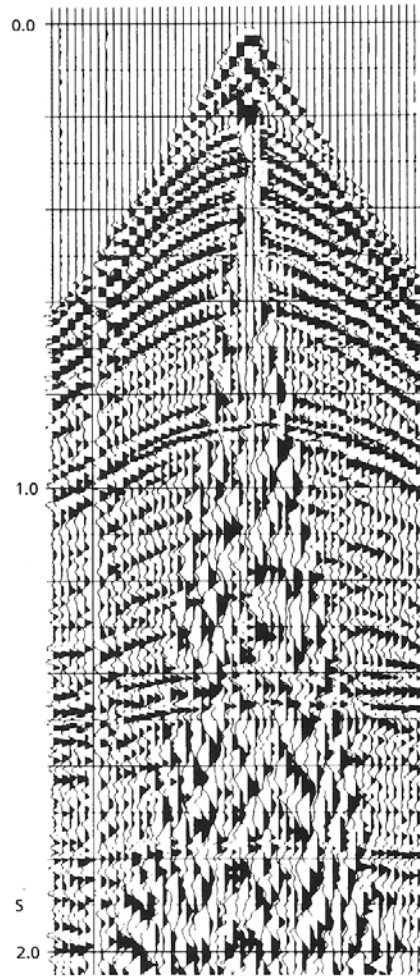
Konvolutionsmodell von Reflexionsseismogrammen



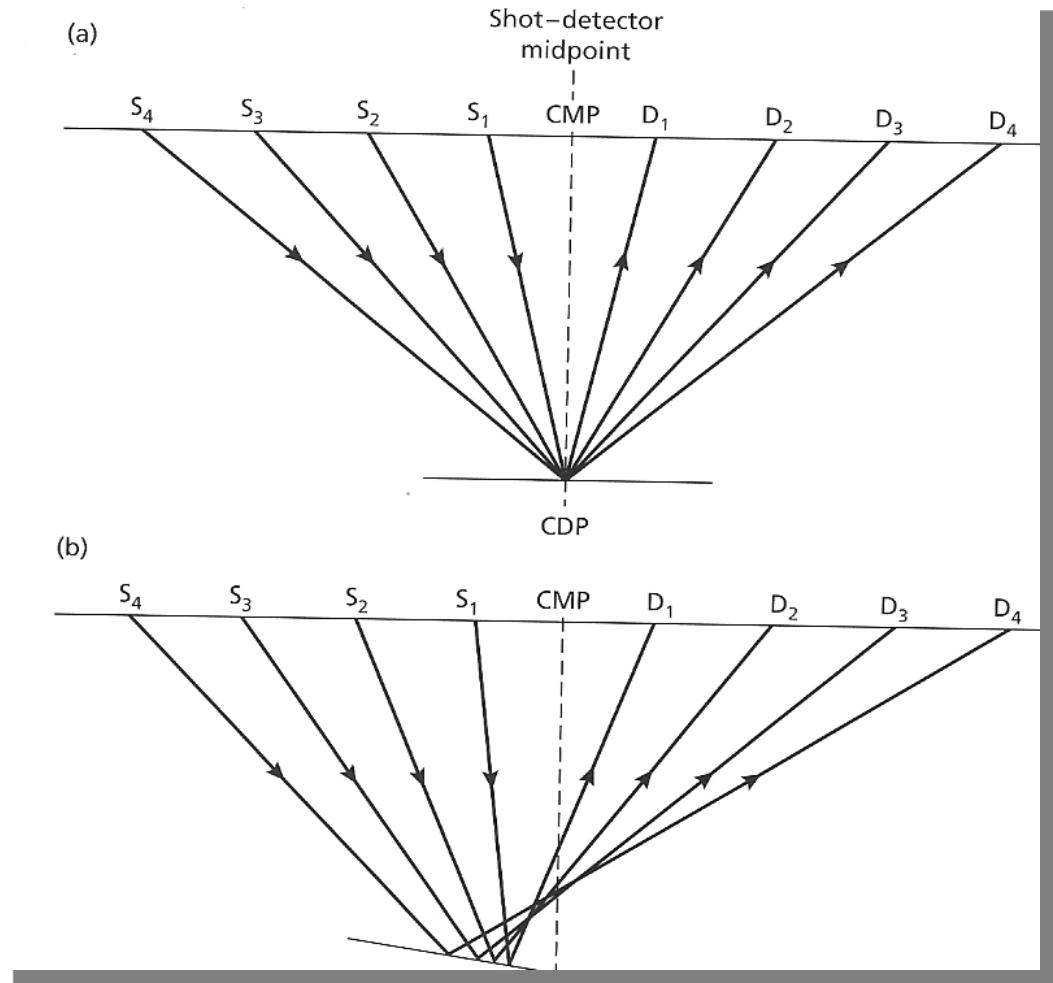
Schuss-Detektor Anordnungen



Die Schussanordnung Common-Mid(Depth)-Point (CMP)



1.8 A draped seismic record of a shot gather from a split



Vertikale und horizontale Auflösung

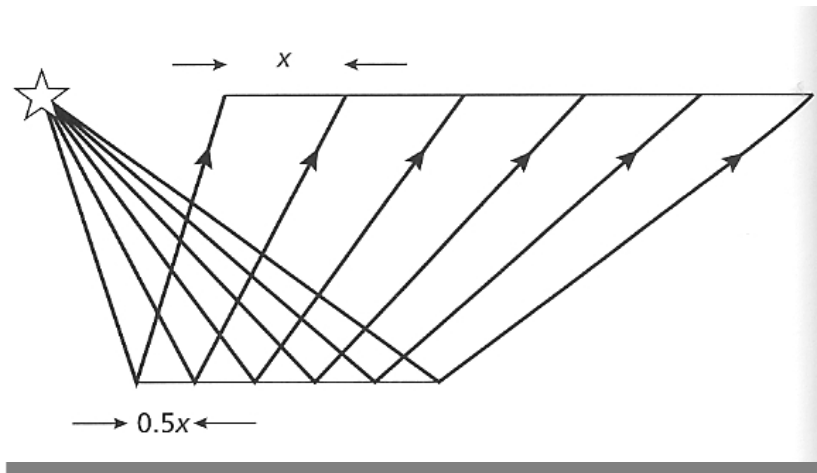
Fresnel-Zone

Vertikale Auflösung eines seismischen Pulses: $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{8}$ einer Wellenlänge

Beispiel: $v=2\text{km/s}$, 50Hz $\rightarrow$ Auflösung 10m

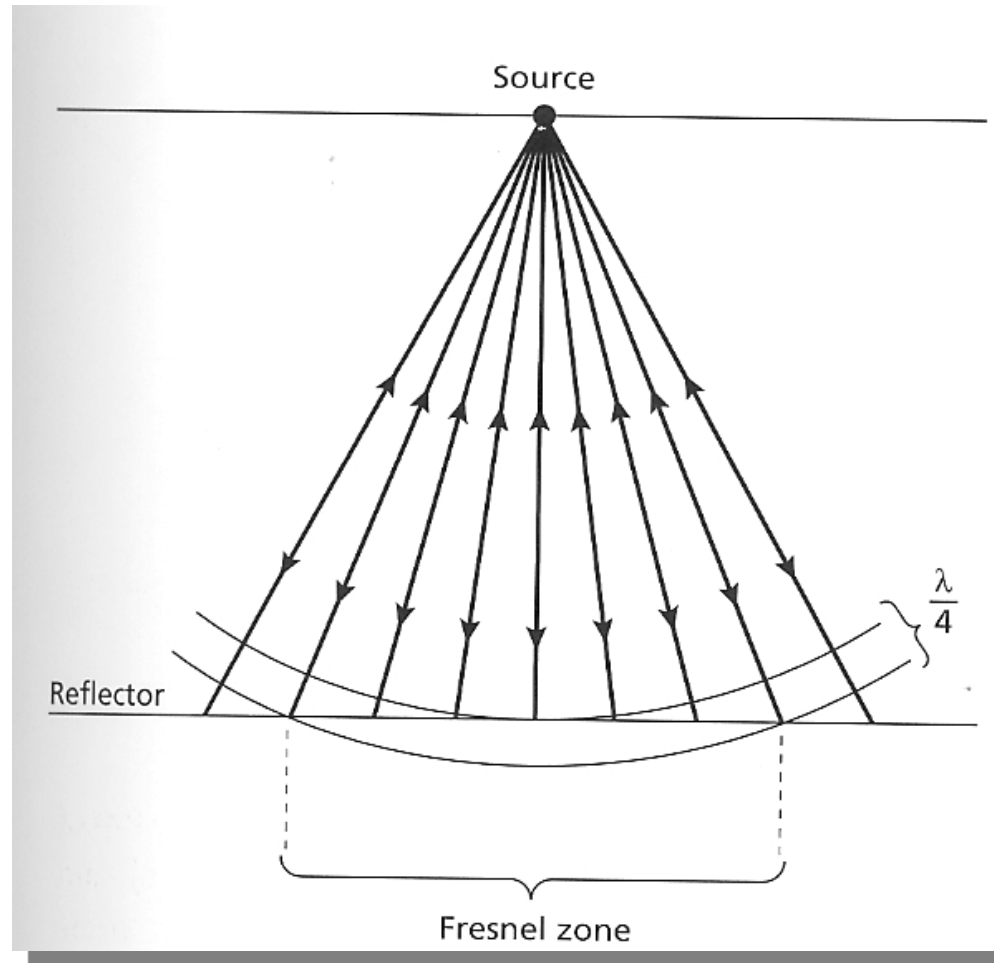
$\rightarrow$ Scharfer Impuls erwünscht $\rightarrow$ Dekonvolution $\rightarrow$ Ansprechverhalten des Mediums auf einen Impuls

Horizontale Auflösung: Bestimmt durch die Abstände der Detektoren (Seismometer) und der Fresnel-Zone: $w=(2z\lambda)^{1/2}$ für $z \gg \lambda$.



Vertikale und horizontale Auflösung

Fresnel-Zone



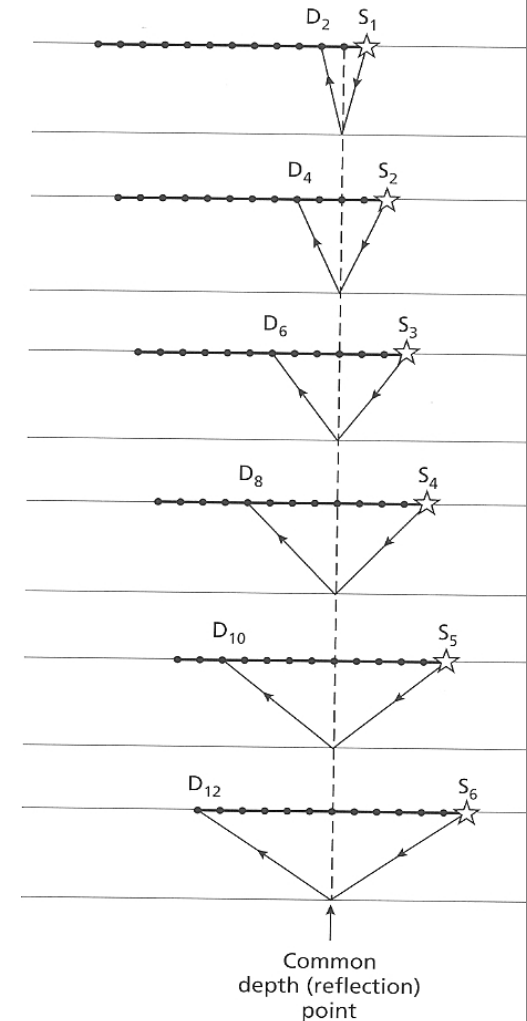
CMP Messverfahren

Multi-Channel Reflexionsmessung

Mit einer geeigneten Quelle-Empfänger-Anordnung können die Aufnahmen "gestackt" (gestapelt, gemittelt) werden um damit das **Verhältnis Signal-zu-Rauschen** zu verbessern!

Der Grad des „Stackings“ einer CMP-Anordnung wird bestimmt durch $m = N/2n$. Hierbei ist N die Anzahl der Geophone, und n die Anzahl der Geophonabstände um die die Quelle zwischen den Schüssen versetzt wird. Die Verbesserung des Signal/Rauschen Verhältnisses durch das „Stacking“ ist $\sqrt{m}$.

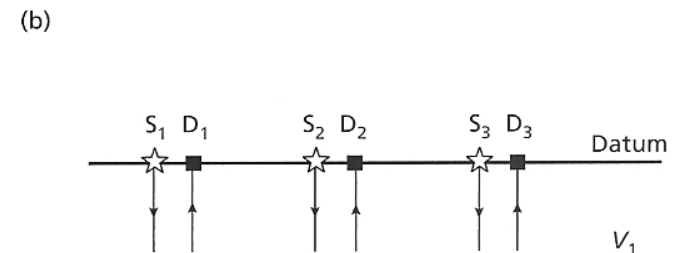
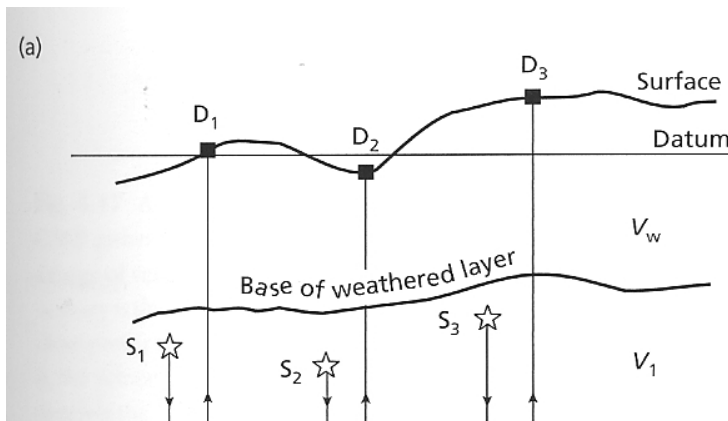
Beispiel: $N=96$, $n=8$: $\rightarrow 96/16=6$ -fach
Die Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses ist: $\sqrt{6} \sim 2.5$



Statische Korrekturen

Normalerweise sind Quelle und Empfänger nicht auf der selben topographischen Höhe. Wir müssen Korrekturen vornehmen für

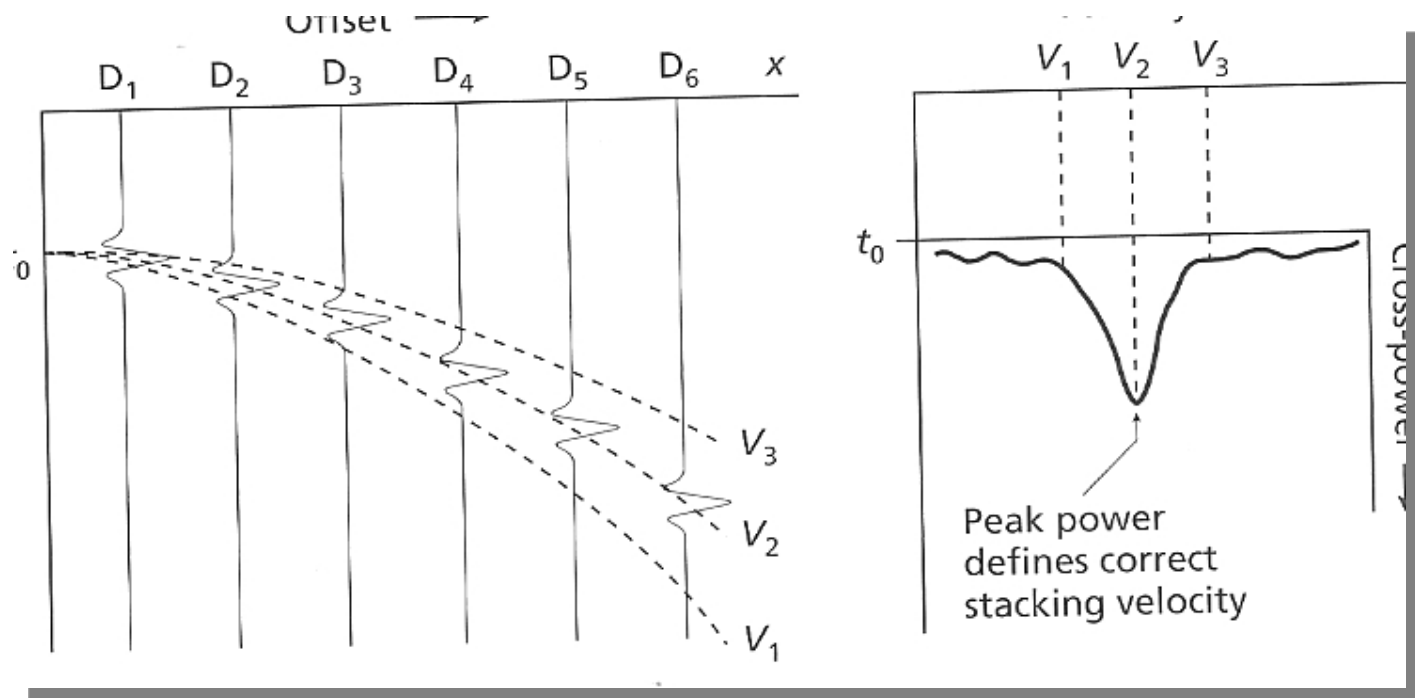
- die topographische Höhe
- die Verwitterungsschicht



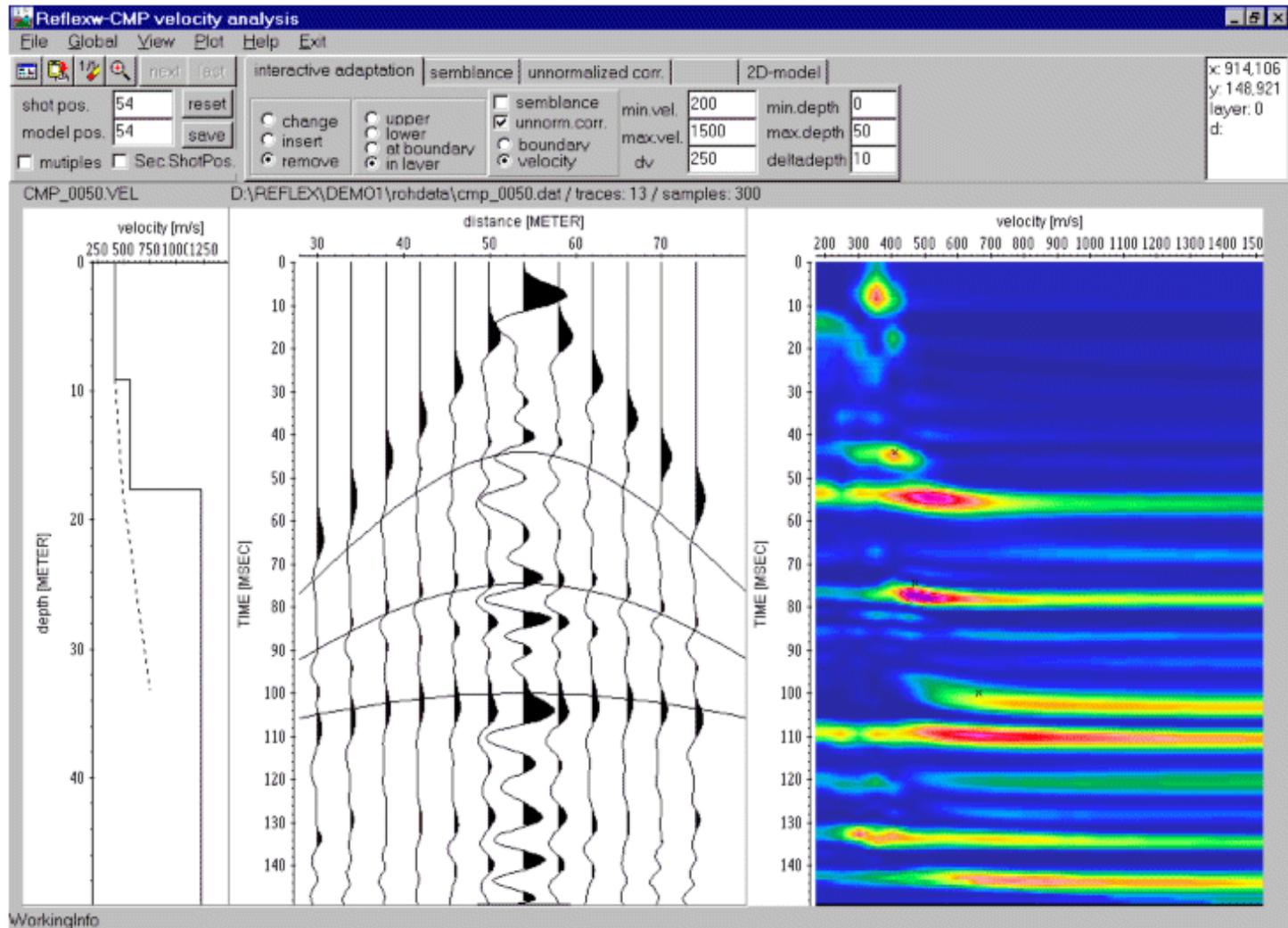
„Redatuming“

Dynamische (NMO) Korrektur

... ist hauptsächlich die Kompensation des Moveouts einer bestimmten Reflexion.



NMO moveout (CMP) Analyse

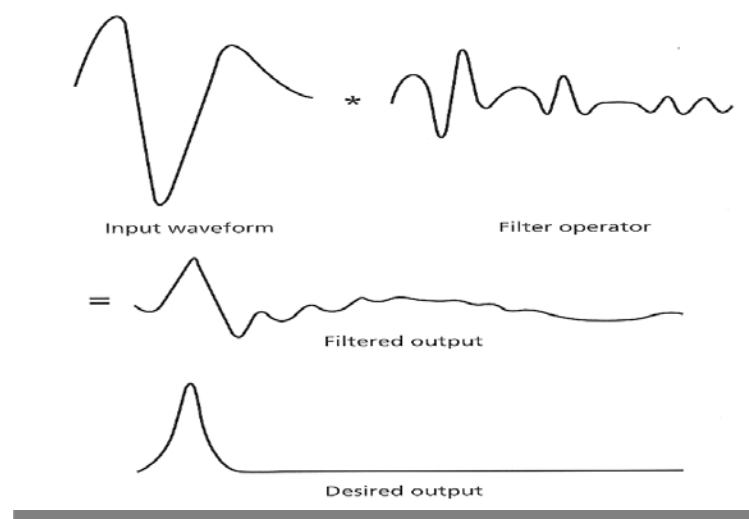


(Invers-) Filterung seismischer Daten

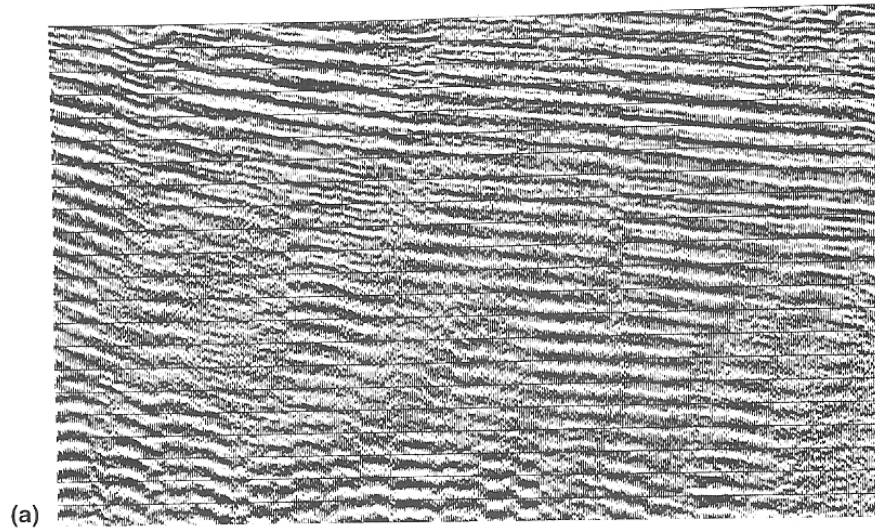
Dekonvolution

Um die (visuelle) Qualität der Darstellung zu verbessern möchte man alle ungewollten Signale unterdrücken

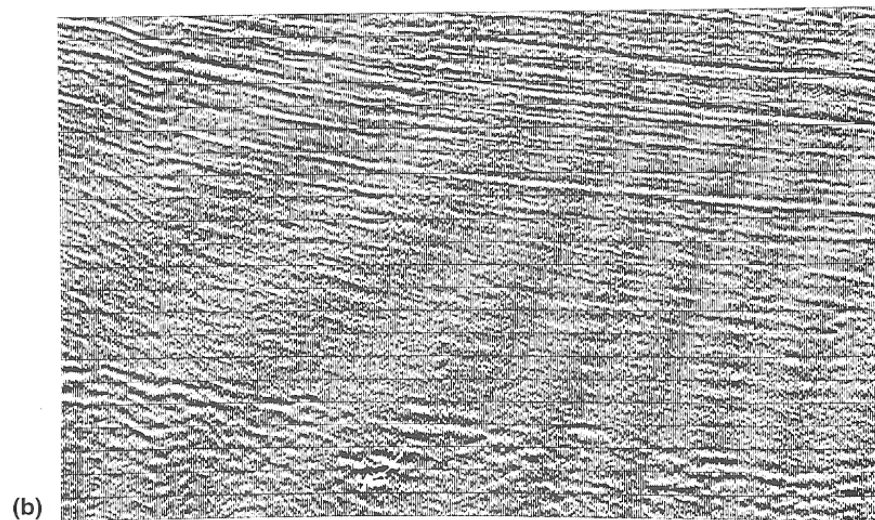
- Dereverberation (Unterdrückung multipler Reflexionen)
- Deghosting (Unterdrückung der Oberflächenreflexion)
- Whitening (Verschärfen des Signals)



Filterung - Beispiel



Vorher



Nachher

Migration

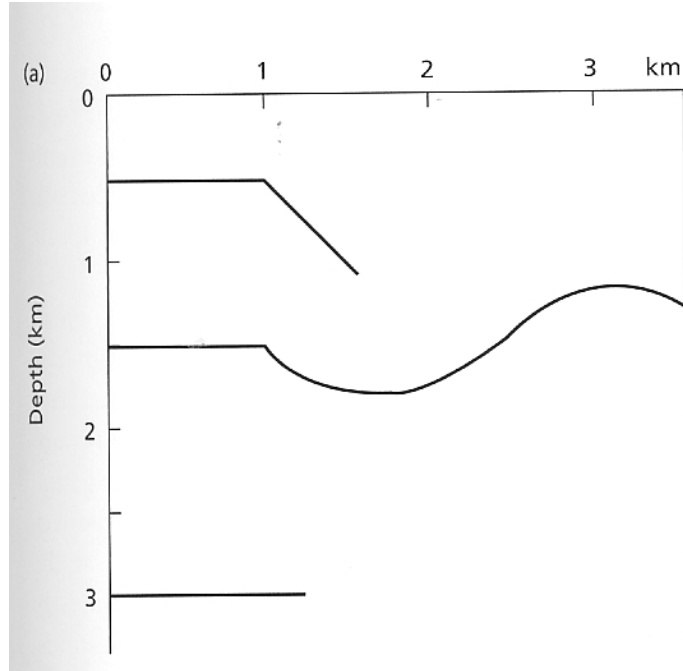
Migration ist das Konzept Seismogramme in Abbildungen des Untergrunds umzuwandeln, indem man die Reflexionsereignisse unter ihrer jeweiligen Position an der Oberfläche, und an ihrer entsprechenden vertikalen Position (mittels korrigierter vertikaler Reflexionszeit) platziert.

Zeit-Migration: die Dimension der Hochachse migrierter Seismogramme ist Zeit (Laufzeit hin und rück).

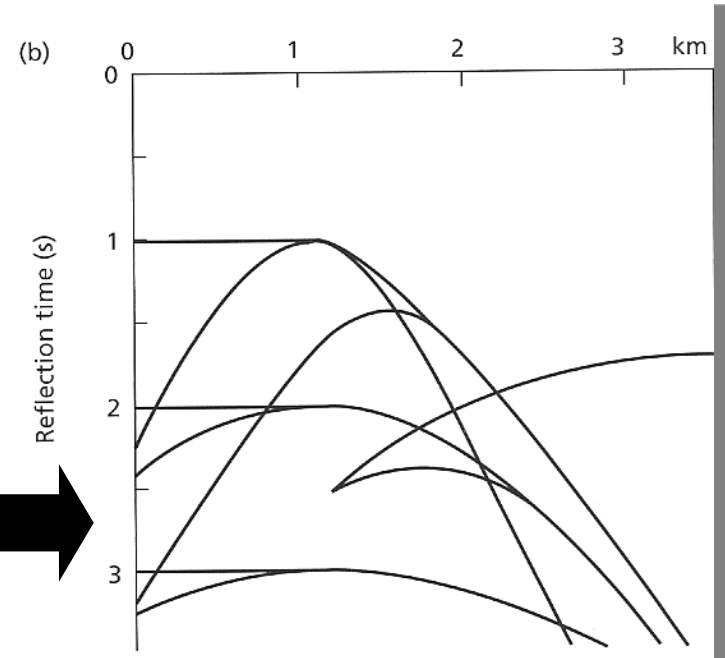
Tiefen-Migration: Migrierte Reflexionszeiten wurden mittels entsprechender Geschwindigkeiten in Reflektor-Tiefen umgewandelt.

Migration

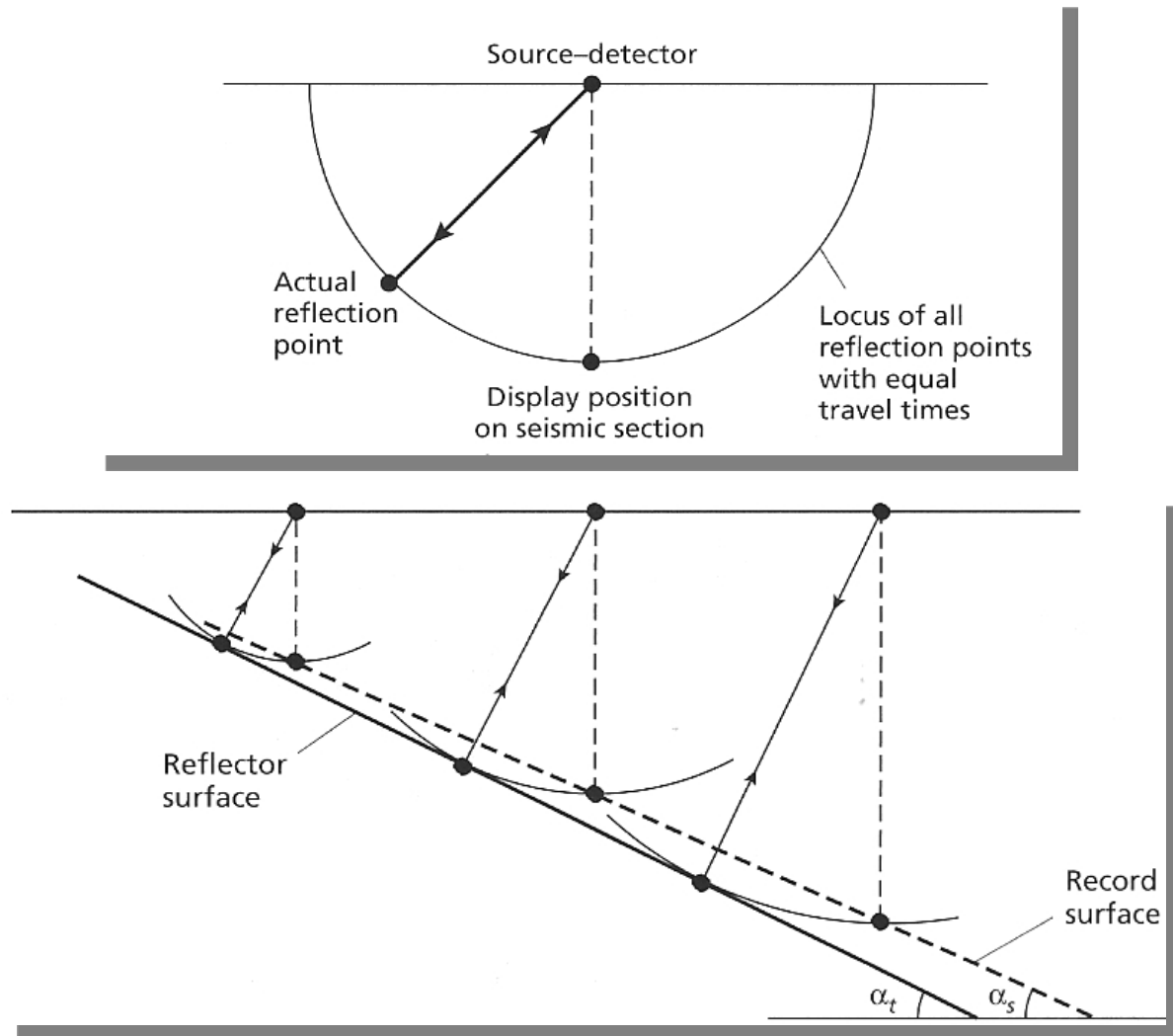
Reflektoren



Seismische Darstellung

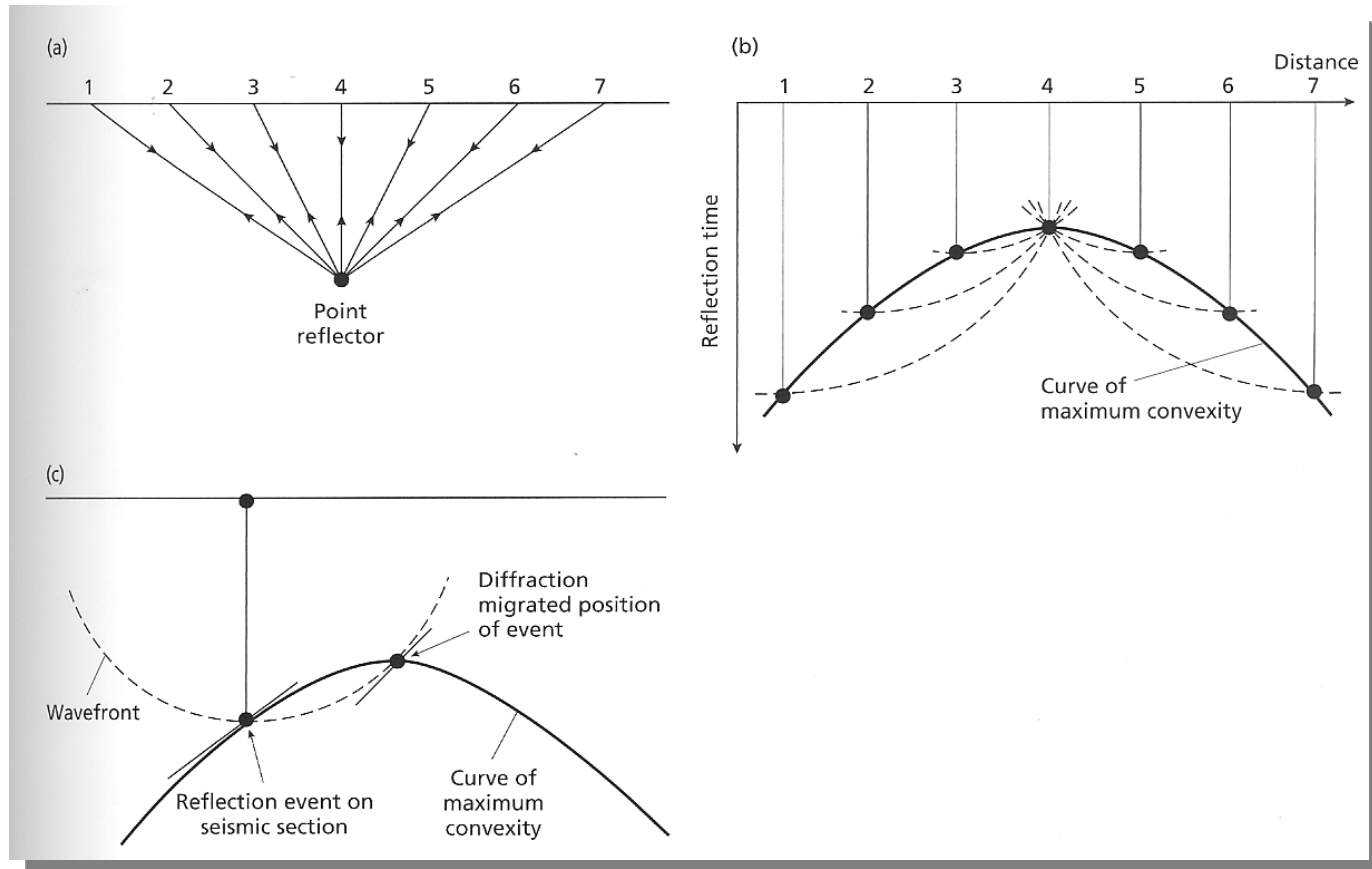


Wellenfront Methode

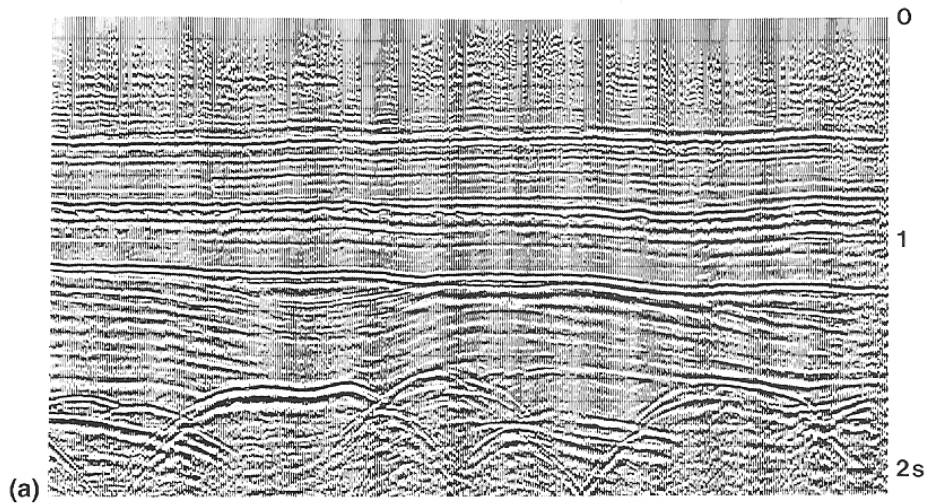


Diffraktions-Migration

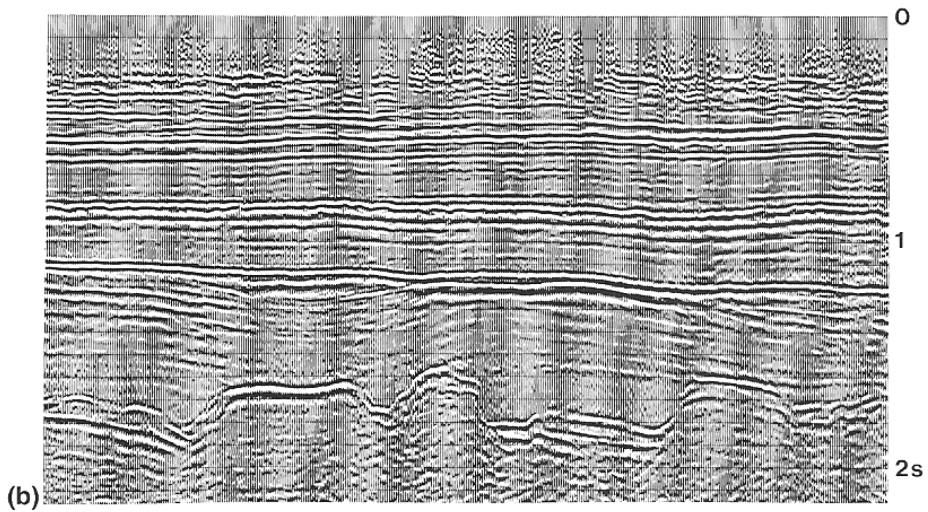
Es wird angenommen, dass jeder ausgedehnte Reflektor aus einer Aneinanderreihung von Reflexionspunkten (Diffraktoren) besteht.



Migration

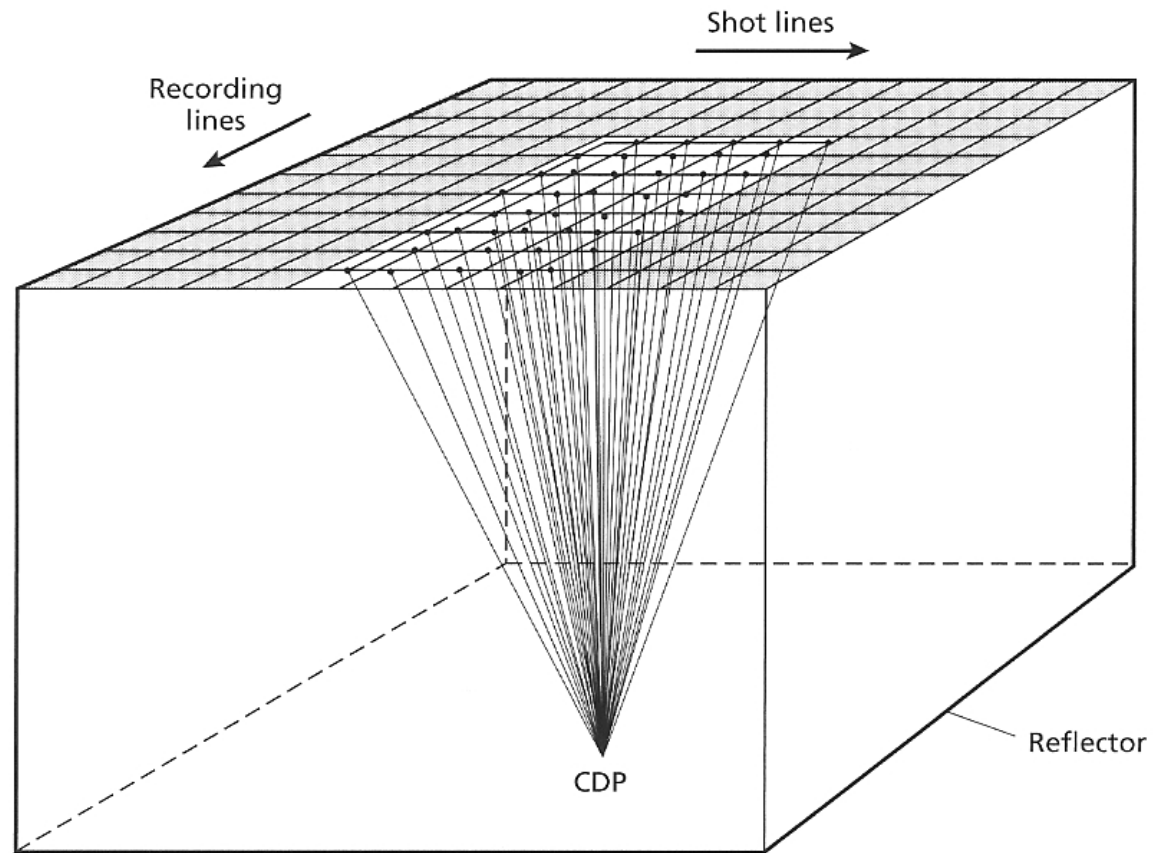


Vorher

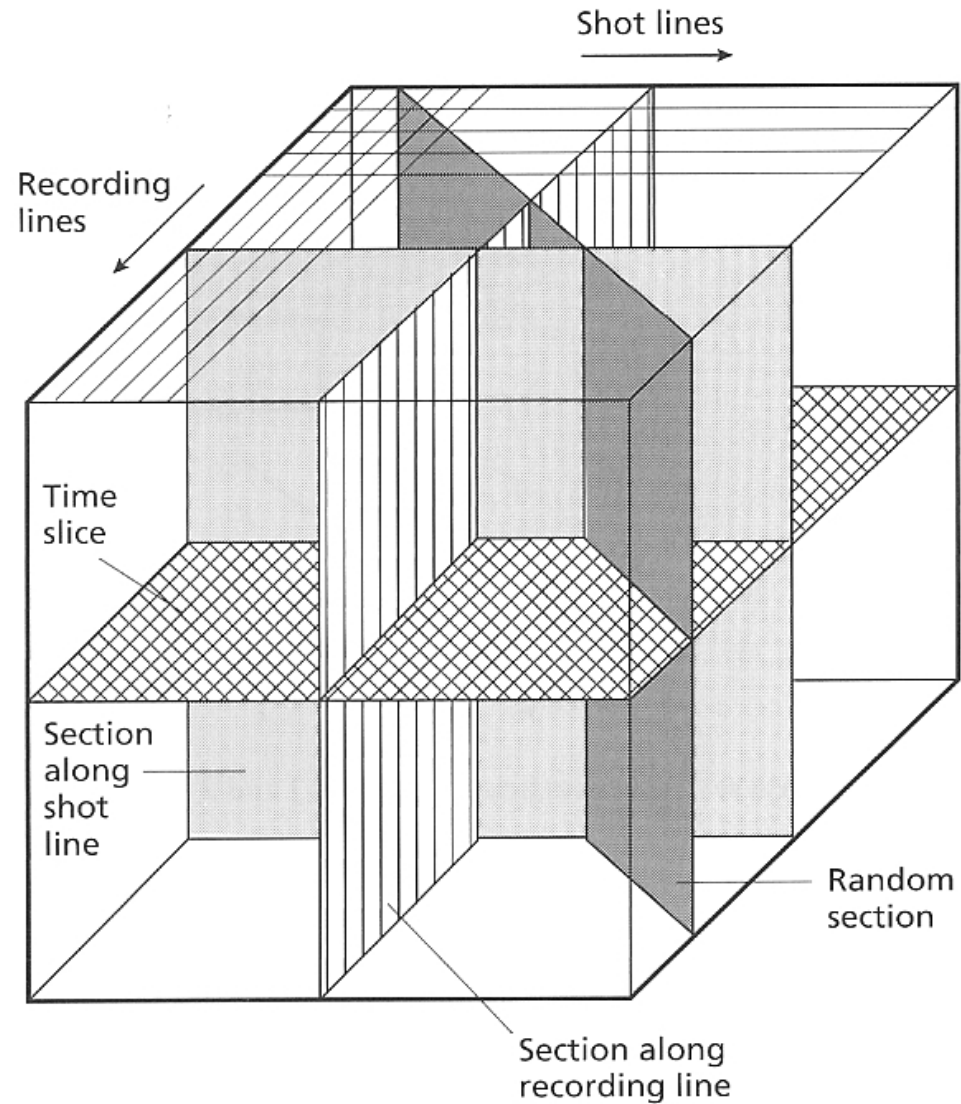


Nachher

3D Messungen



3D Messungen



Heutiges 3-D Beispiel: Valhall



- Operated by BP Norway since 1982
- Expected to produce until 2050
- Estimated 2.7 billion barrels of oil (500 million recovered as of 2004)

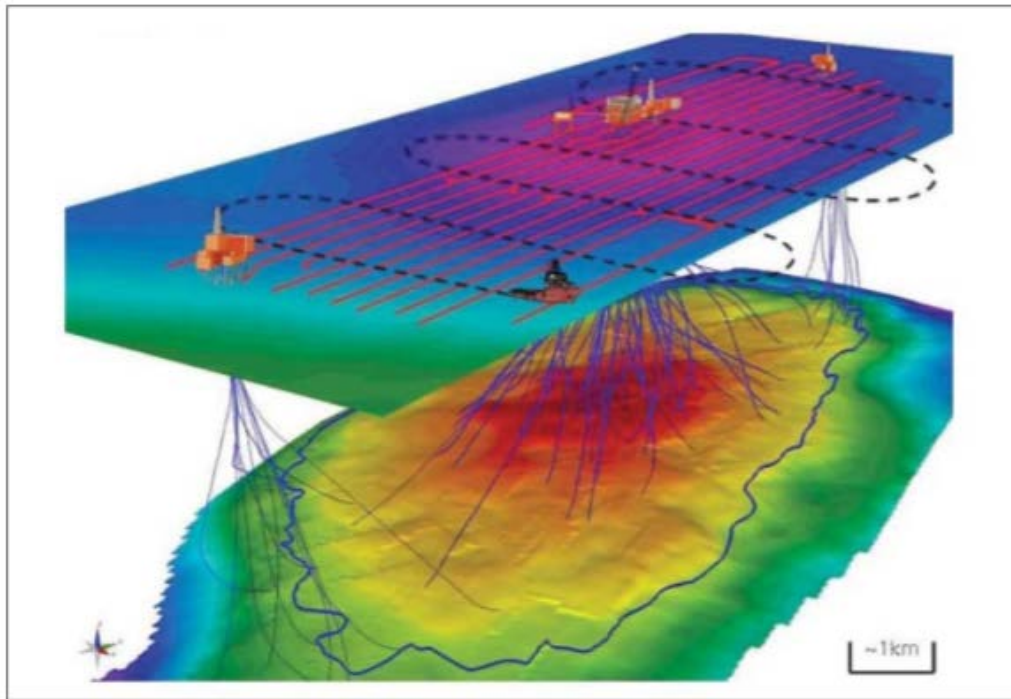
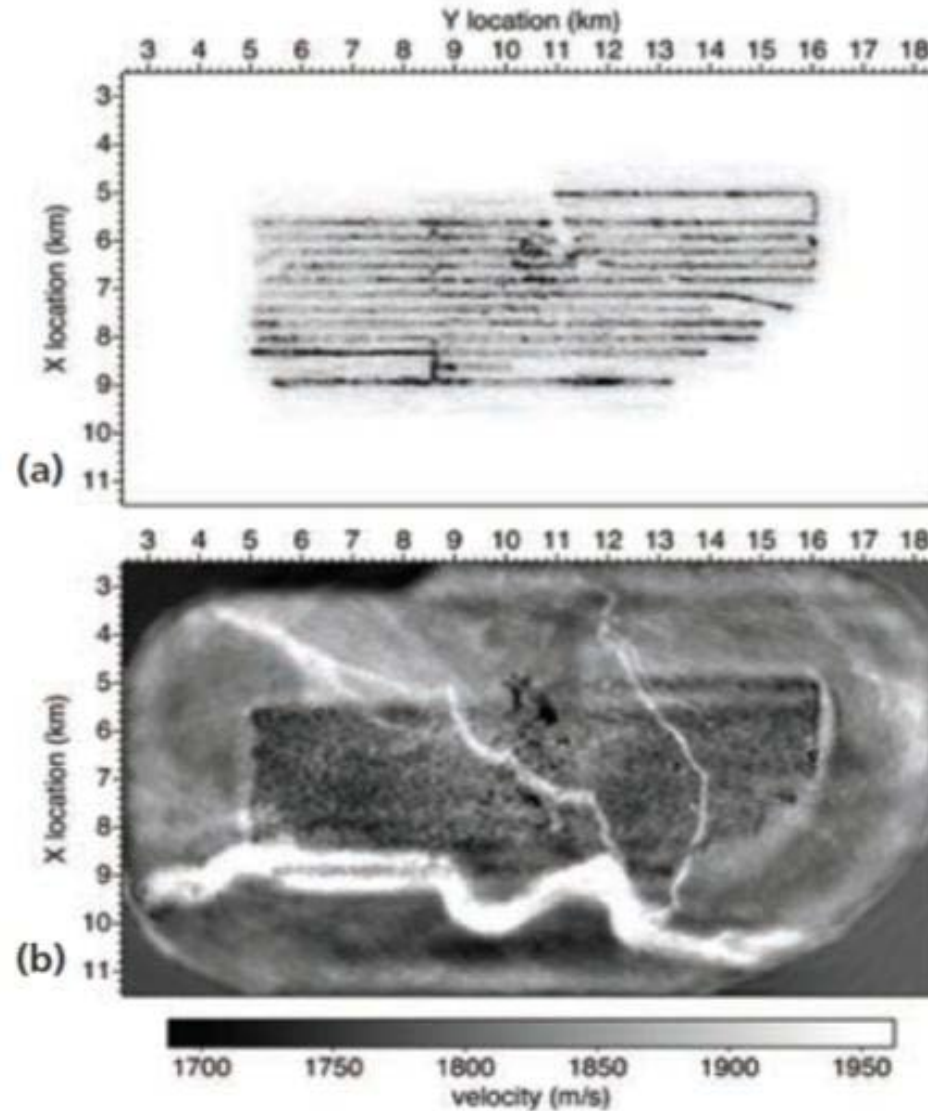


Figure 1. Overview of Valhall Field showing the layout of the geophone array at the sea floor (red lines), the top of the reservoir, the outline of the field (dark blue line), and the wells (thin blue lines).

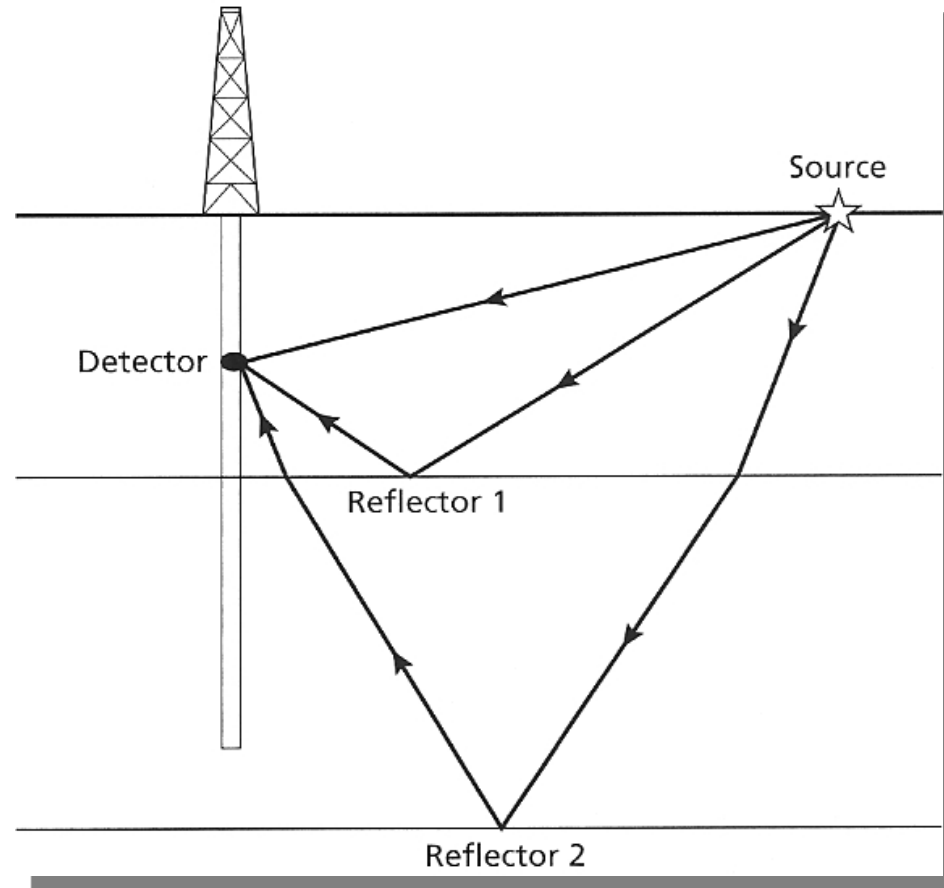
- LoFS ("life of field seismic project") system installed in 2003
- "First of its kind in the world and cost nearly US \$45 million,,
- ~ 2500 receiver stations 50 m apart, 1 m deep, covers 70% of the field
- ~ 50,000 shots / survey
- Average 2 surveys / year (each takes ~ 3 weeks)

Paleochannels (waveform inversion)

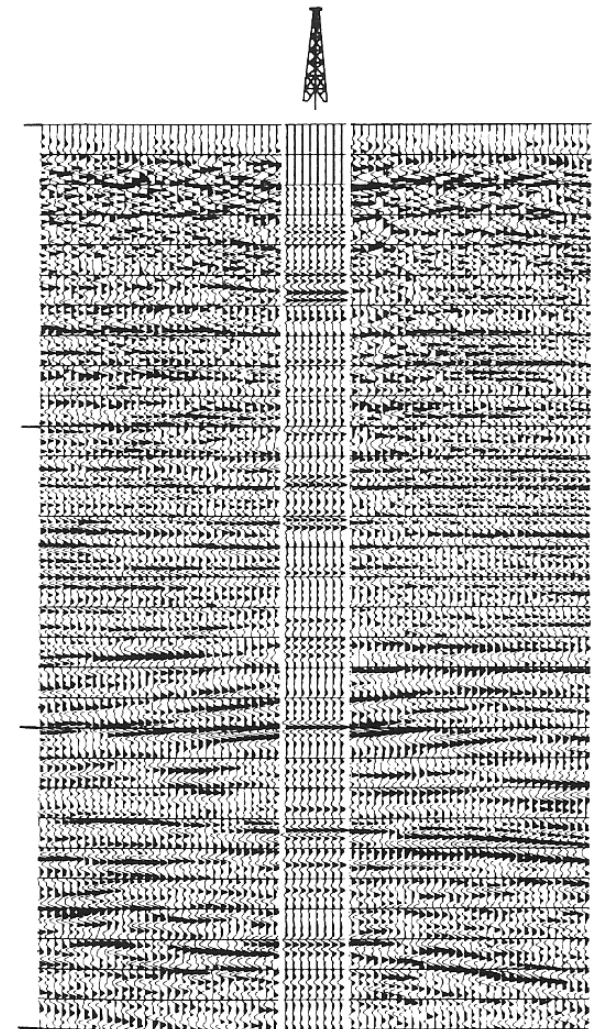
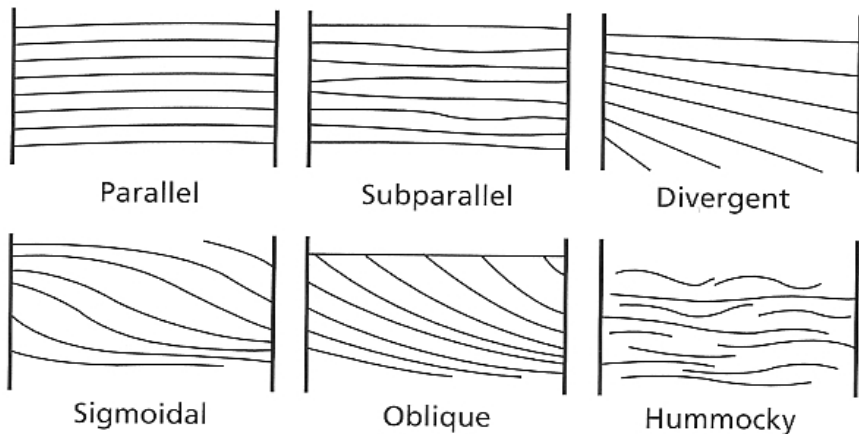
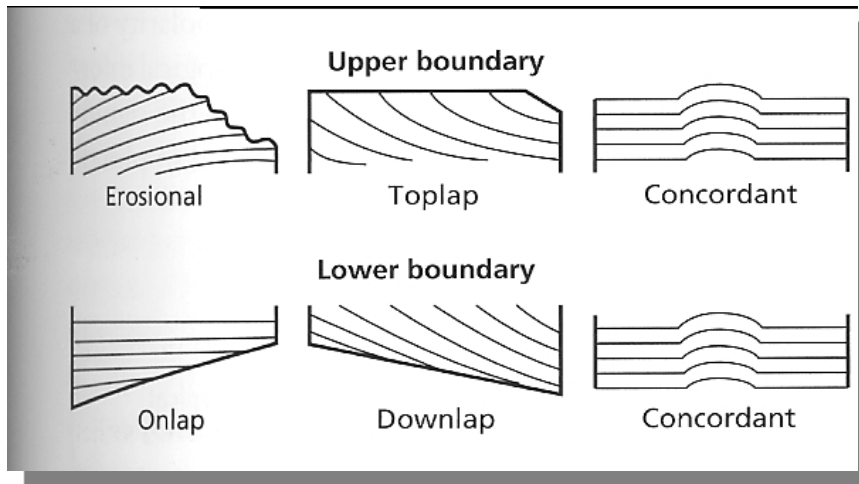


Sirgue et al., 2010

Vertikales Seismisches Profil (VSP)

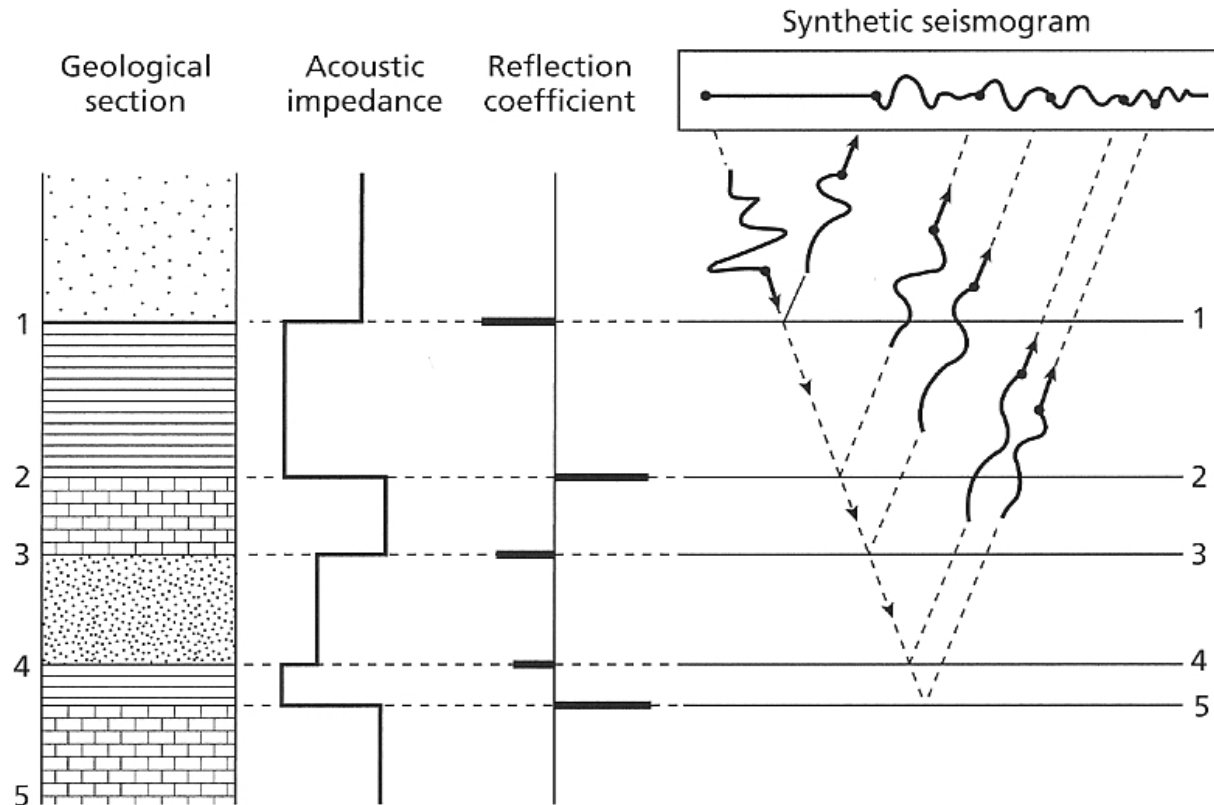


Analyse der Struktur

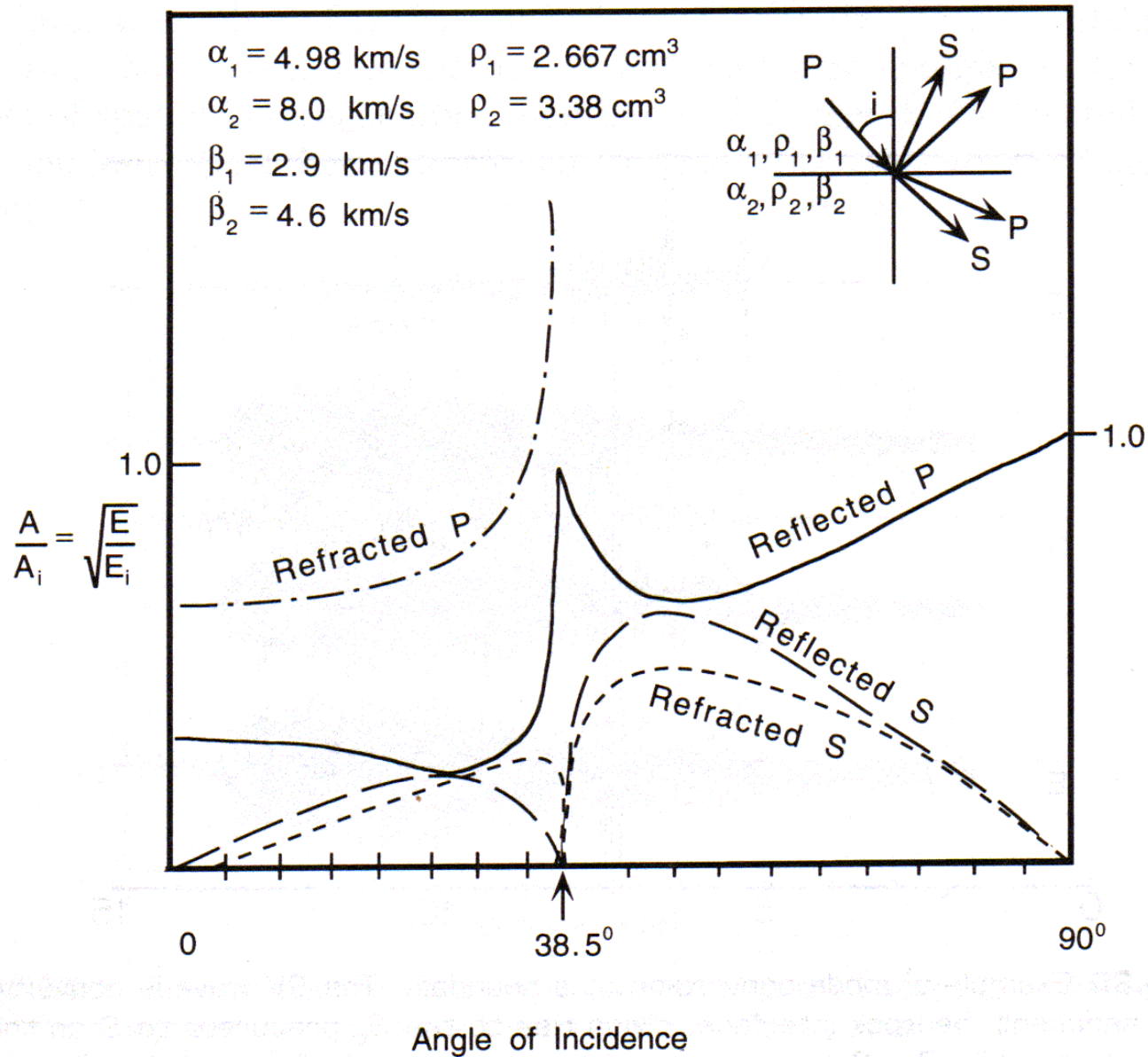


Synthetische Seismogramme

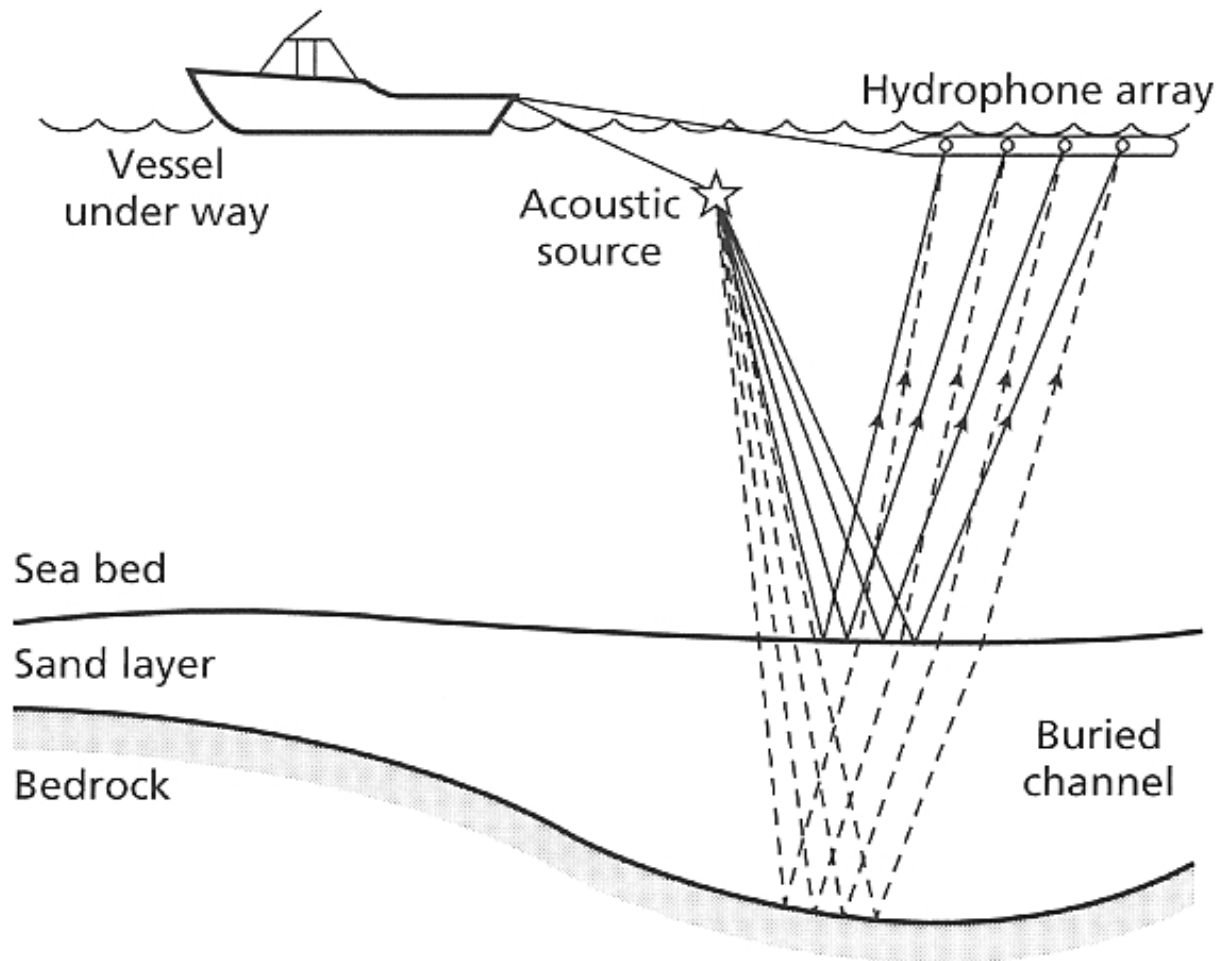
Amplitude-vs-Offset



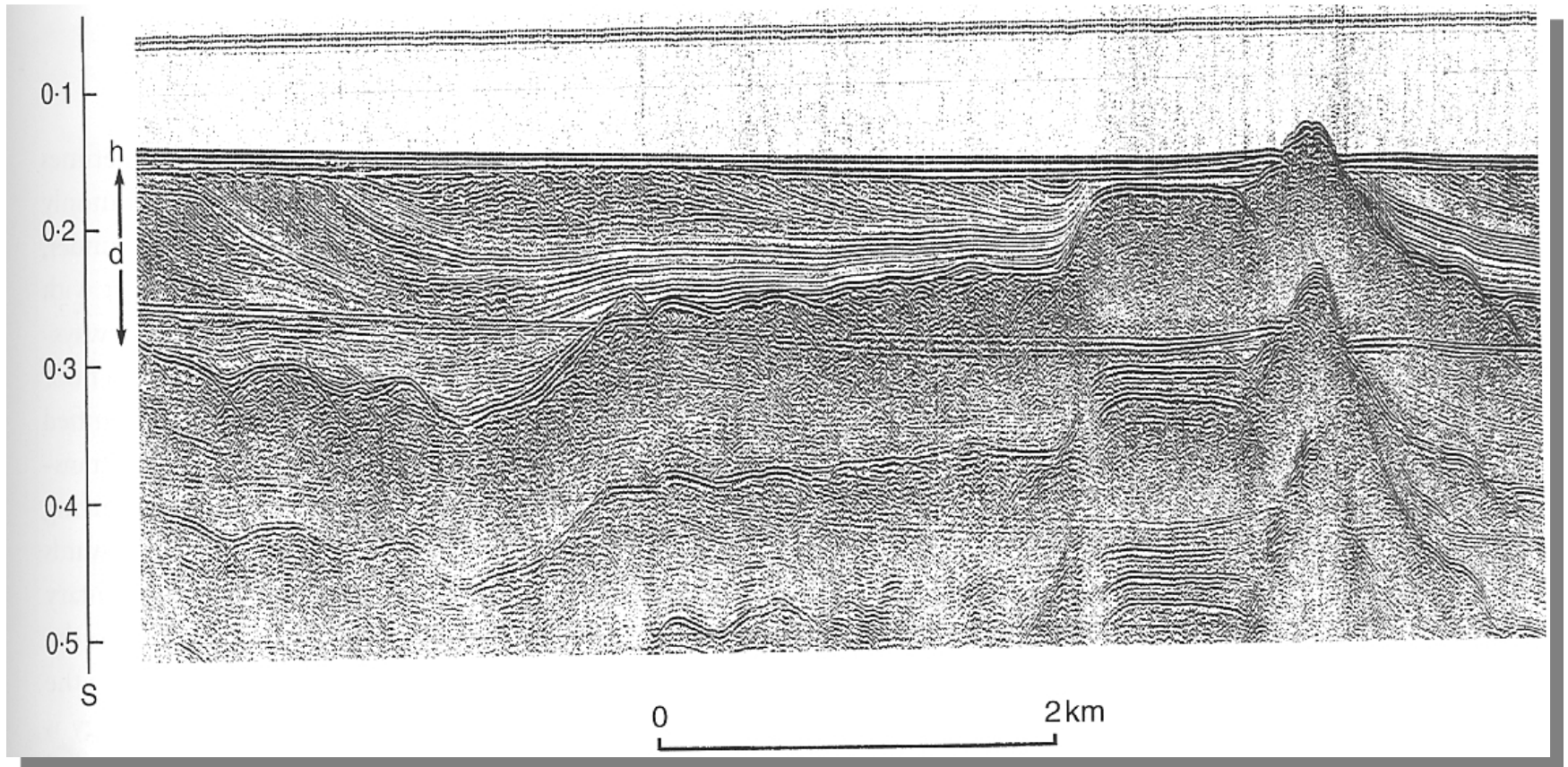
Reflektionskoeffizienten - Beispiel



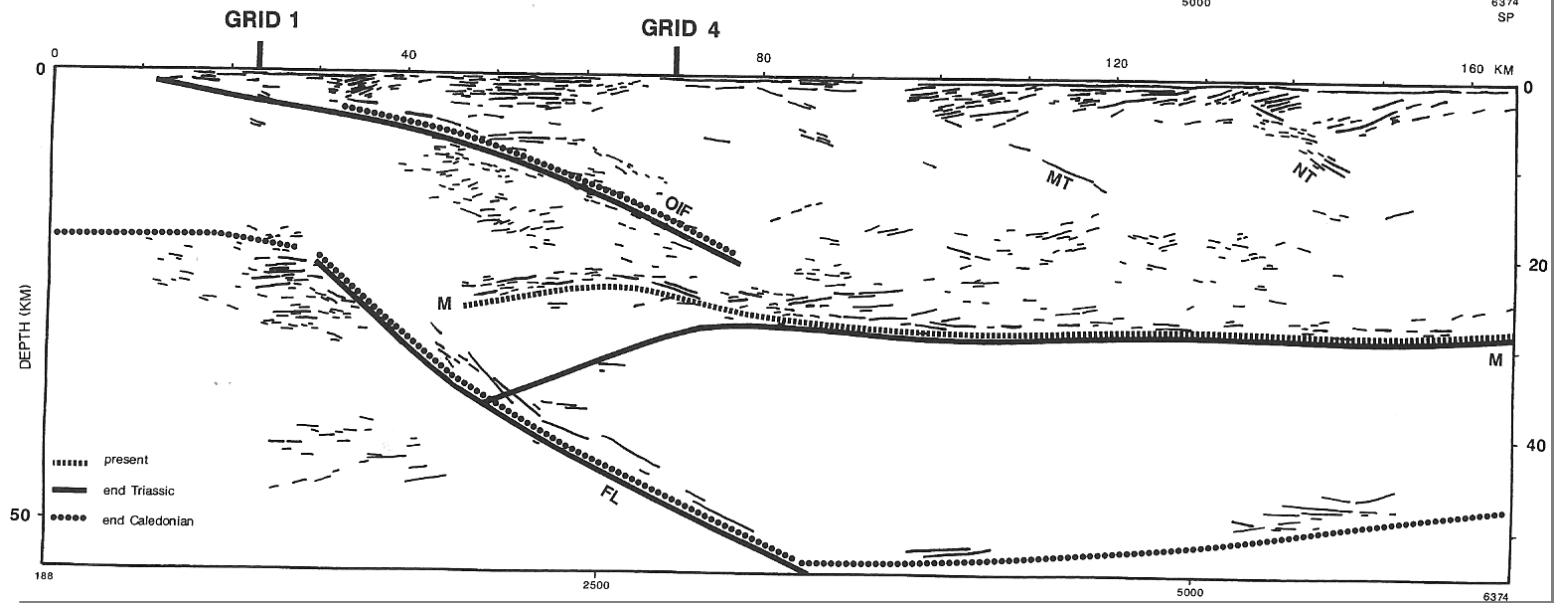
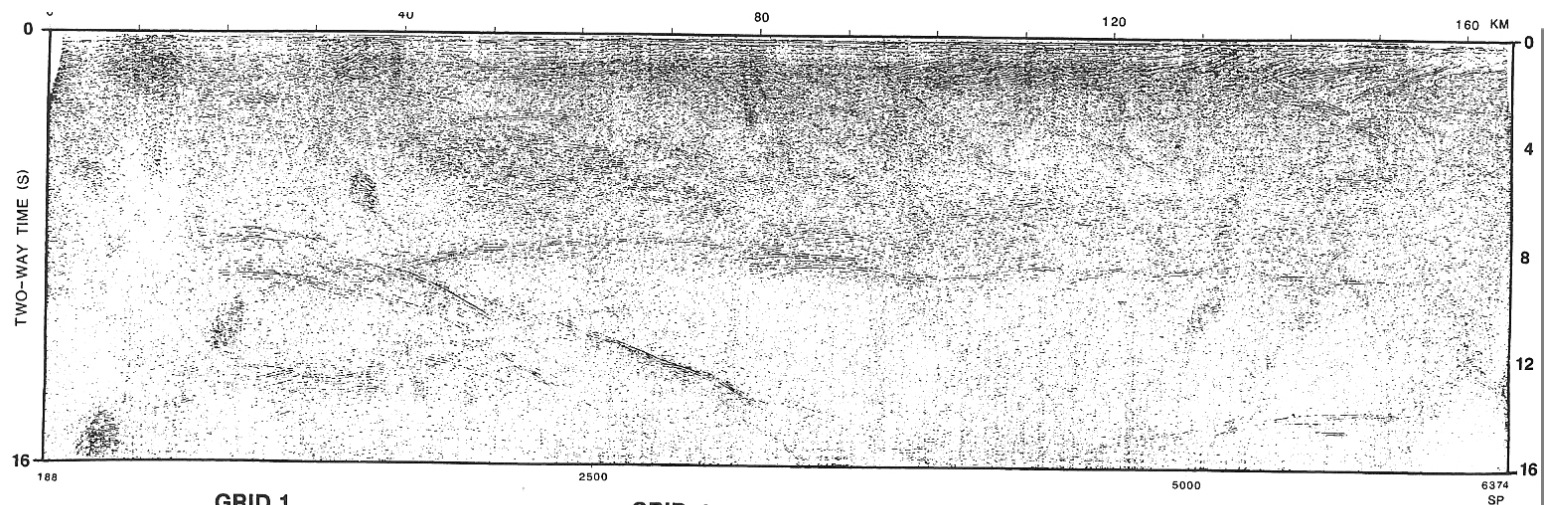
Marine Reflexionsseismik



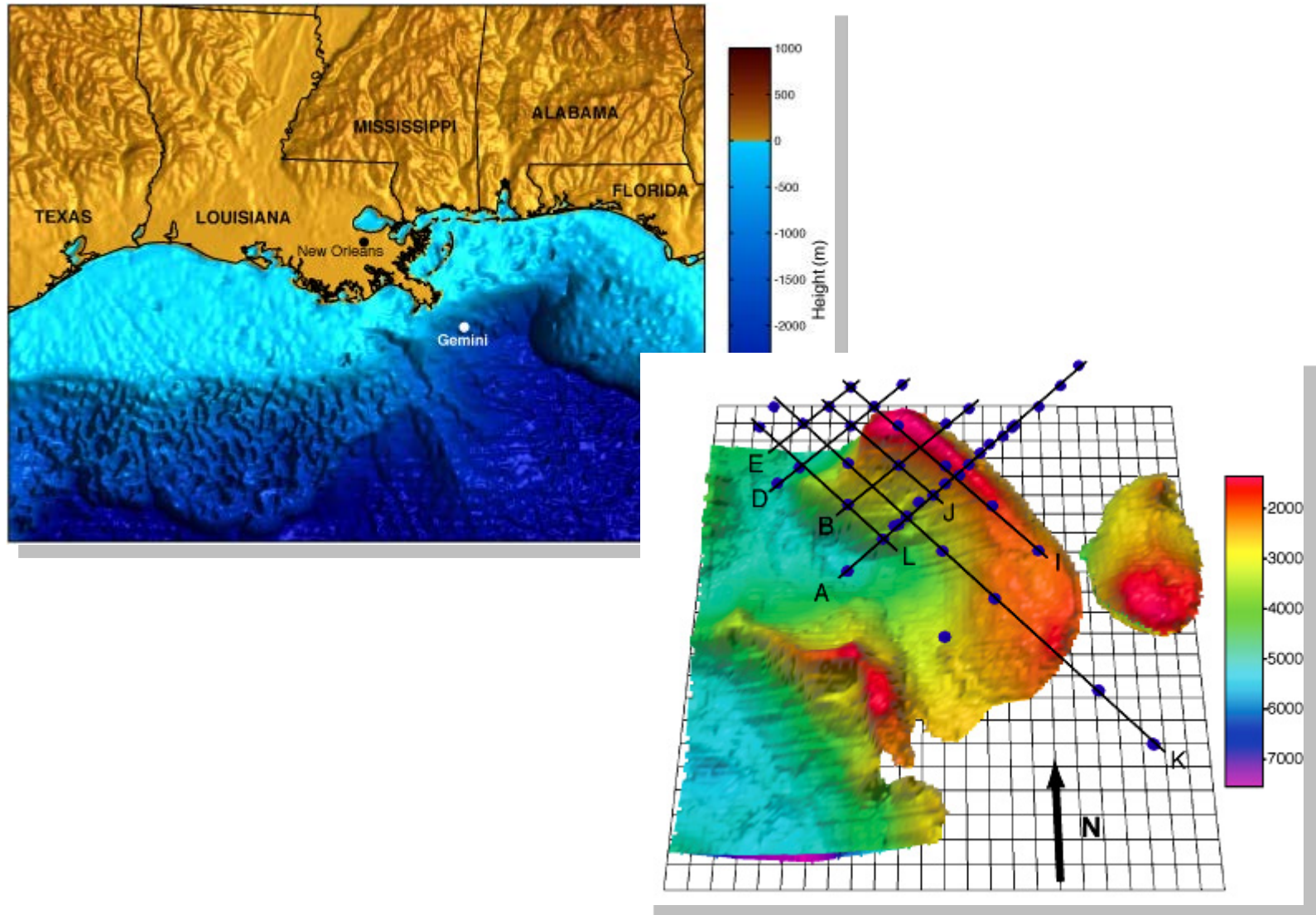
Reflexions Seismogramme



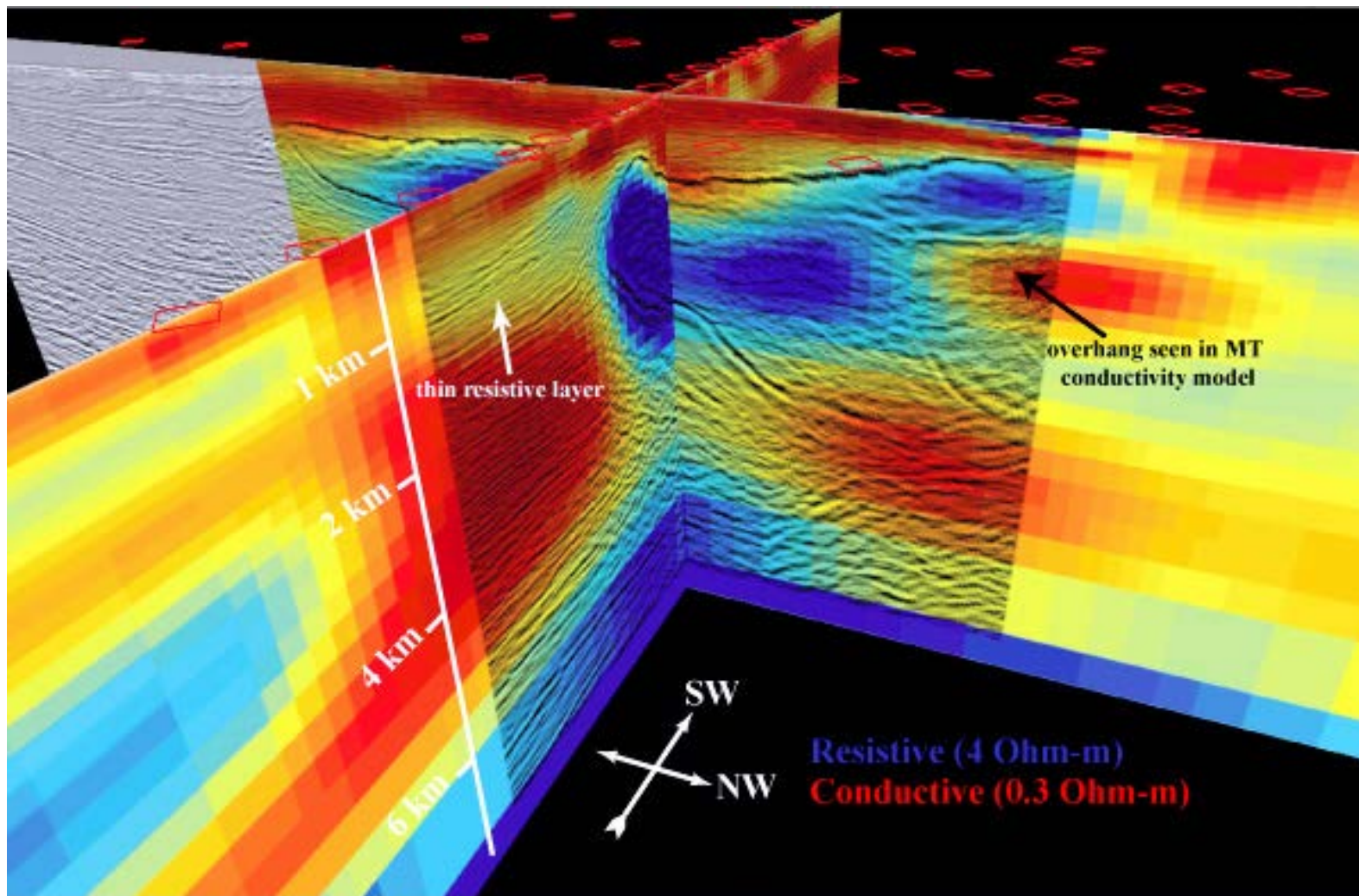
Air gun record from the Gulf of Patras, Greece, containing sea bottom reflection, multiples, irregular erosion surface and sediment



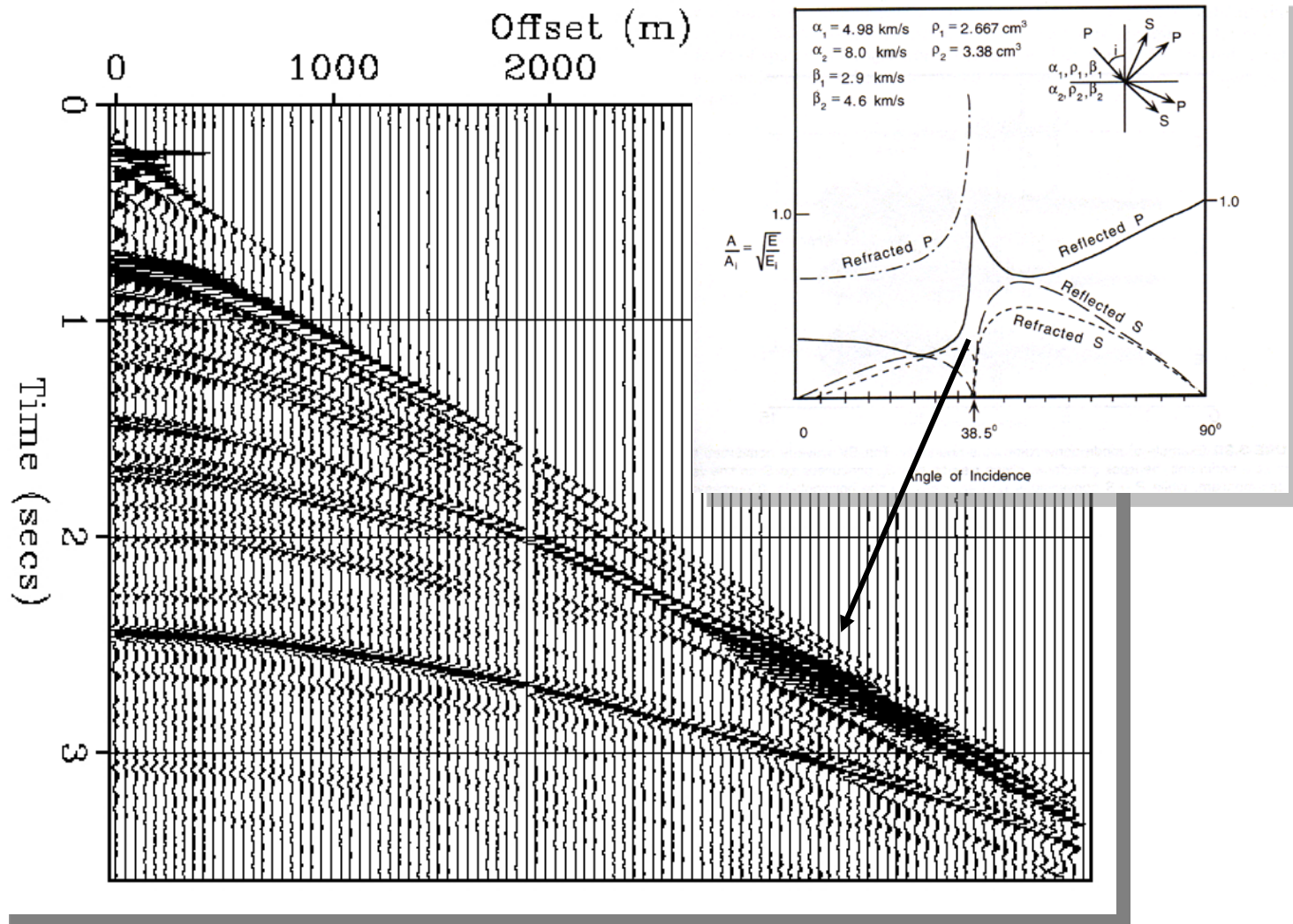
SCRIPPS Institution of Oceanography combined seismics and magnetics



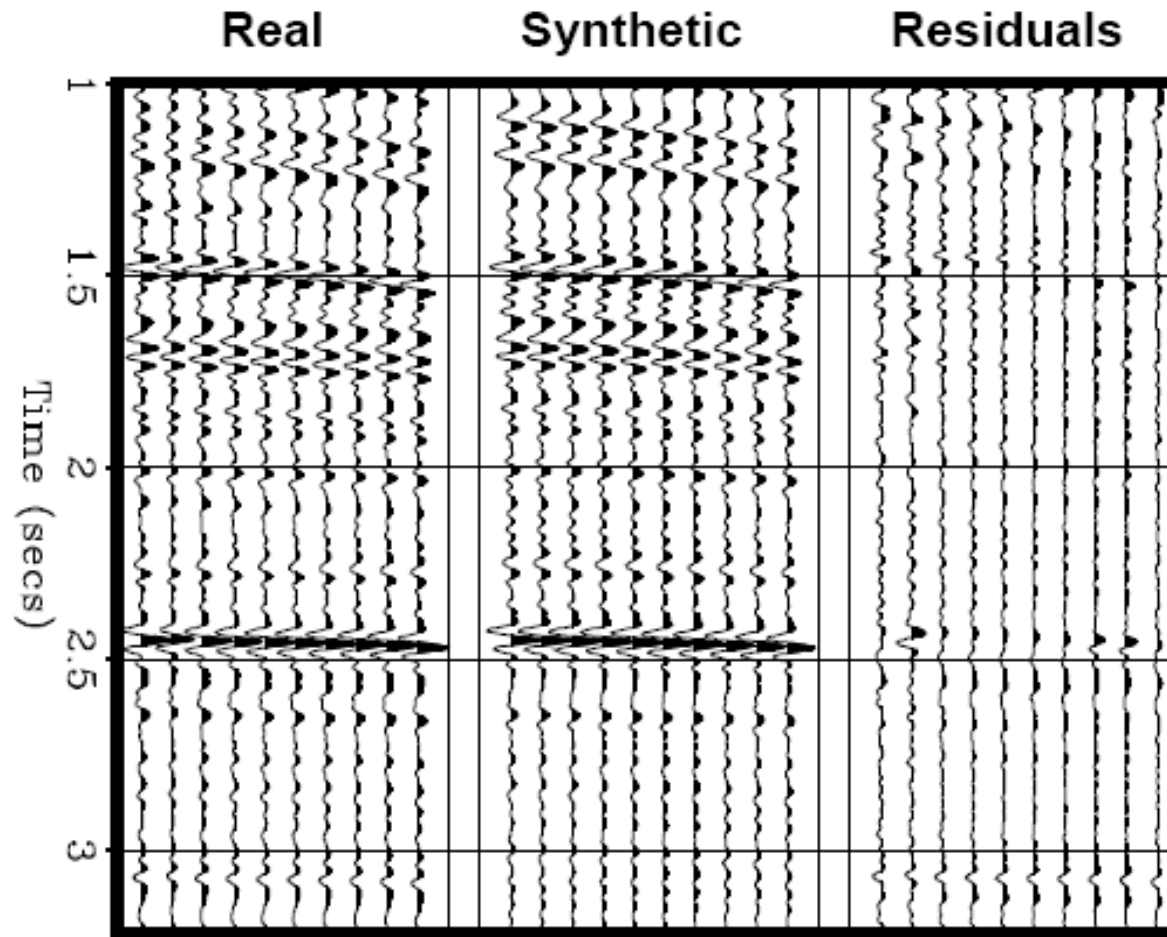
Final results



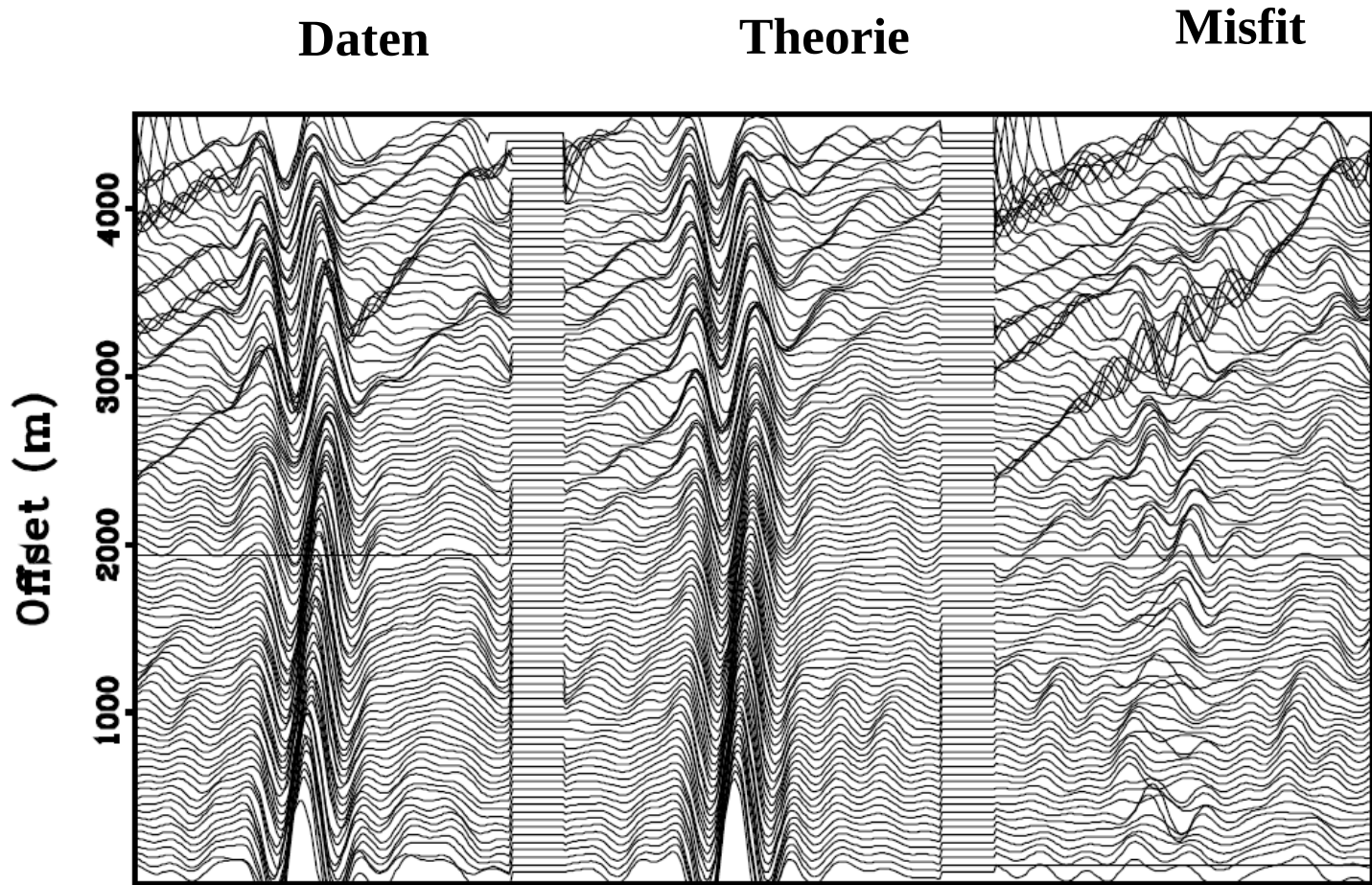
Refraktionsprofil (Exxon Daten – Golf von Mexico)



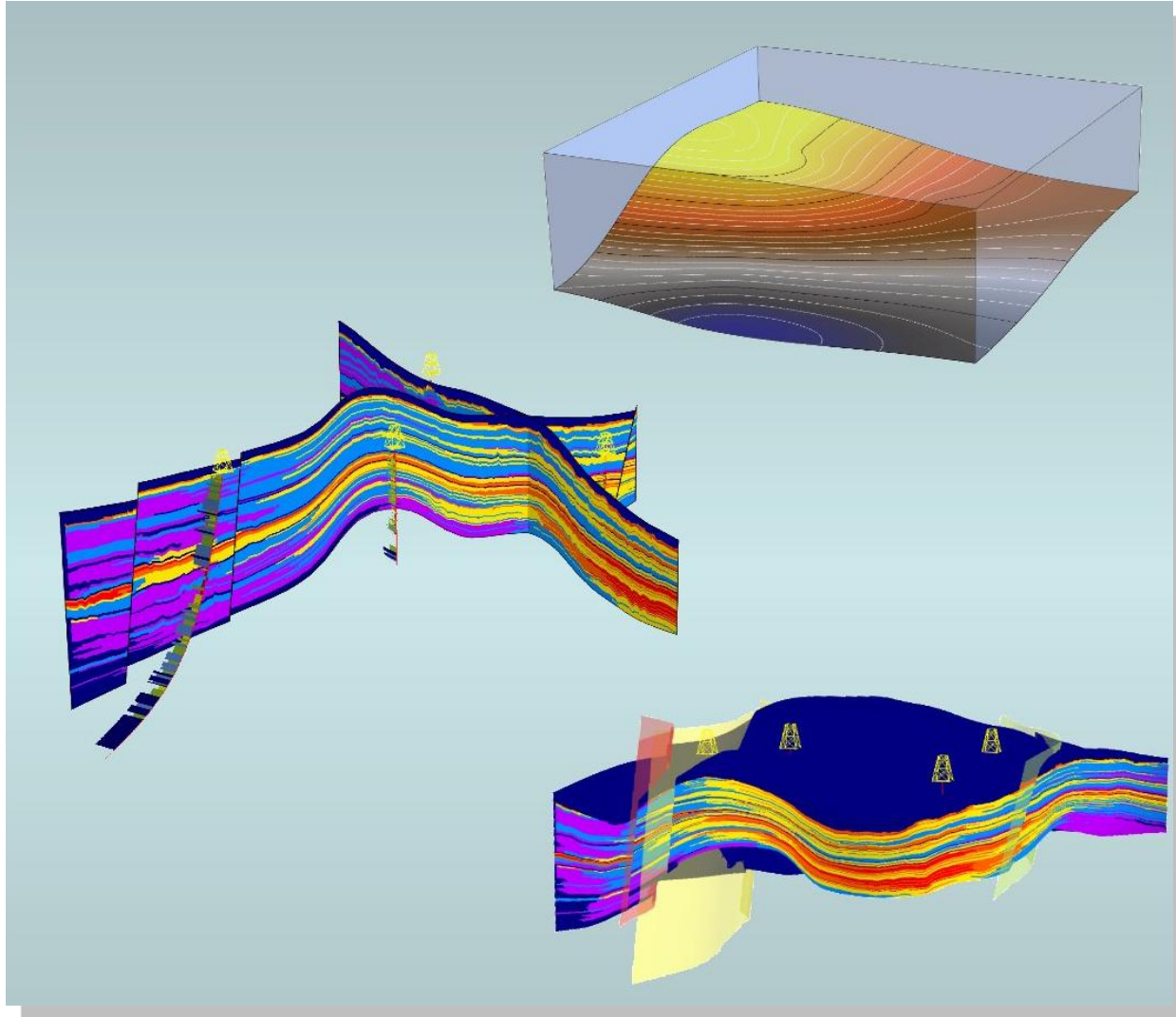
Wellenformmodellierung



Wellenformmodellierung



Visualization - Interpretation



Based on GOCAD www.gocad.com

Zusammenfassung

- **Reflexionsseismik** ist das wichtigste Verfahren der Geophysik (besonders für Abbildung oberflächennaher Regionen)
- R-Seismische Messungen sind darauf ausgelegt mehrmals den selben **Common Mid-Point (CMP)** zu beleuchten - für den Fall von horizontalen Schichten - entsprechend den **Common Depth Point (CDP)**
- Die wichtigsten Indikatoren sind **abrupte Änderungen der seismischen Geschwindigkeit (Grenzfläche)**, welche lithologische Änderungen anzeigen.
- Das Ziel der Reflexionsseismik ist es, **die aufgezeichneten Signale (Reflexionen) zu kartieren um ein Bild der Reflektoren zu gewinnen**
- Der wichtigste Verarbeitungsschritt dies zu erreichen ist die **Migration**