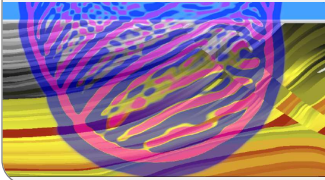


Einführung in die Geophysik I

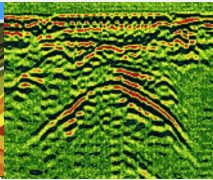
Reflexionsseismik

Thomas Bohlen, Geophysikalisches Institut, Fakultät für Physik

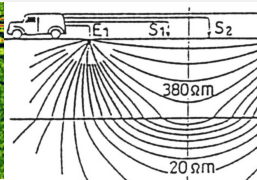
Seismik



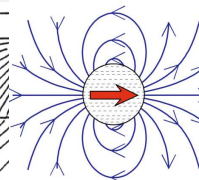
Georadar



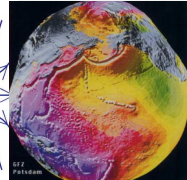
Geoelektrik



Magnetik



Gravimetrie



Inhalte der Vorlesung im Semester WS 2022/23

- | | |
|--------------------------------|----------------|
| 1 Einführung | (02.11) |
| 2 Seismische Wellenausbreitung | (02.11, 09.11) |
| 3 Refraktionsseismik | (16.11) |
| 4 Reflexionsseismik | (23.11) |
| 5 Elektromagnetische Verfahren | (30.11, 07.12) |
| 6 Geoelektrik | (14.12) |
| 7 Gravimetrie | (11.01, 18.01) |
| 8 Magnetik | (25.01, 01.02) |
| 9 Weiteres Thema | (08.02) |

Die Klausur findet voraussichtlich am 15.02.2023 statt.

Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

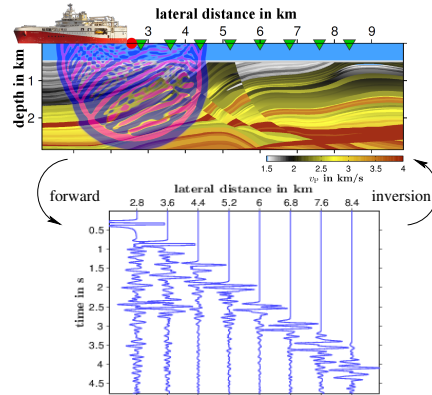
Ziele der Reflexionsseismik

Wellenausbreitungseffekte sind u.a.

- **Reflexion**
- Refraktion

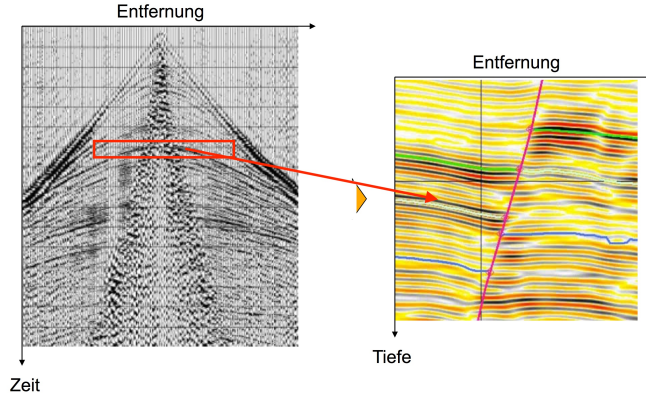
Ziele der Reflexionsseismik

- 1 Abbildung von geologischen Grenzflächen: "Migration"
- 2 Rekonstruktion der Ausbreitungsgeschwindigkeit: "Inversion/Tomographie"



Seismogramme

Abbildung Reflexionsseismik



Migration: Bewegung (lat. "migrare") des aufgezeichneten Signals an den Reflexionspunkt.

Vor- und Nachteile der Reflexionsseismik

Vorteile

- gute vertikale und laterale Auflösung
- gute Tiefeneindringung
- geringe Mehrdeutigkeiten

Nachteile

- großer Aufwand bei der Akquisition (zahlreiche Quellen und Empfänger)
- große Datenmengen (Peta-Bytes)
- Zeit und Erfahrung bei der Datenbearbeitung und Interpretation
- ggf. hohe Rechenleistung

Agenda

- Einführung
- **Signalamplituden**
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Signalamplituden reflektierter Wellen

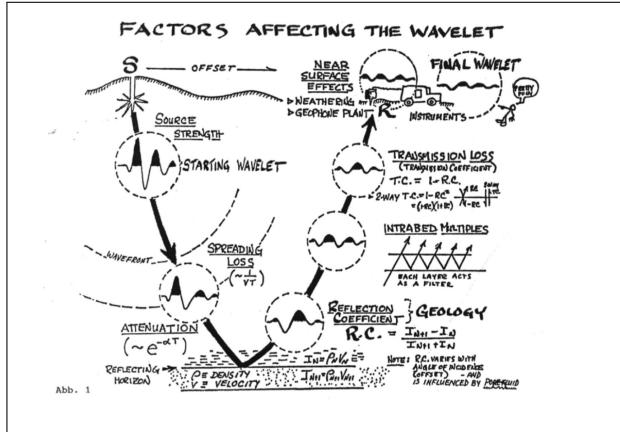
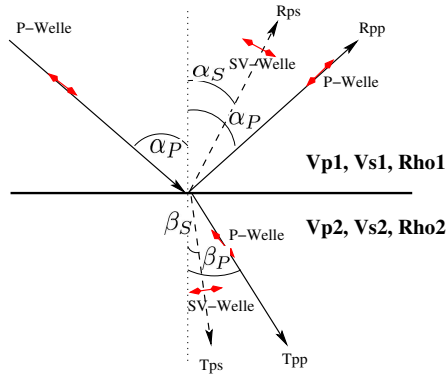


Abb. 1

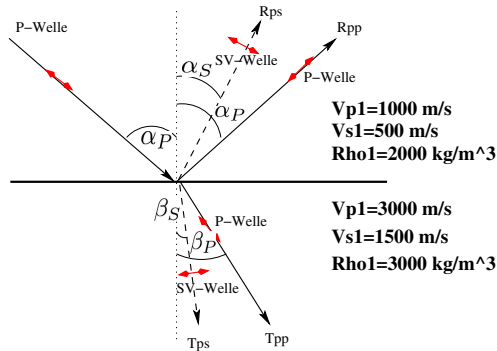
- Abstrahlung (Quelle)
- Geometrischer Ausbreitungsverlust
- Dämpfung
- Reflexion und Transmission
- Interferenzen
- Aufzeichnung (Empfänger)

Reflexions- und Transmissionskoeffizienten



- Reflexionskoeffizient: $R_{pp} = \frac{\text{einfallende Amplitude}}{\text{reflektierte Amplitude}}$
- Der Reflexionskoeffizient hängt stark vom Einfallswinkel ab
- Spezialfall $R_{pp}(\alpha_P = 0) = \frac{\rho_2 V_{p2} - \rho_1 V_{p1}}{\rho_2 V_{p2} + \rho_1 V_{p1}} = \frac{l_2 - l_1}{l_2 + l_1}$
- $l_i = \rho_i V_{pi}$: Impedanz der Schicht i

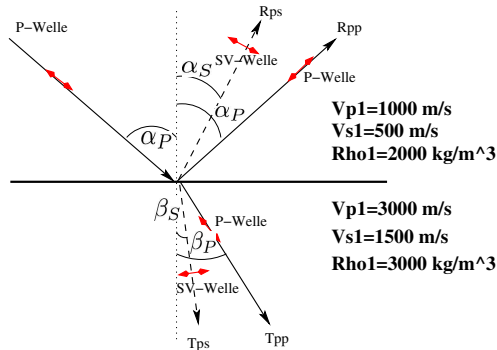
Beispiel für Reflexions- und Transmissionskoeffizienten



■ $R_{pp}(\alpha_p = 0) = 0.64$

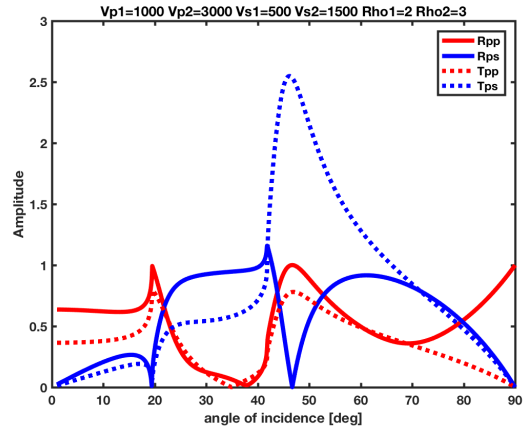
■ $\alpha_p^* = \arcsin(V_{p1} / V_{p2}) = 19^\circ$

Beispiel für Reflexions- und Transmissionskoeffizienten



$R_{pp}(\alpha_p = 0) = 0.64$

$\alpha_p^* = \arcsin(V_{p1} / V_{p2}) = 19^\circ$



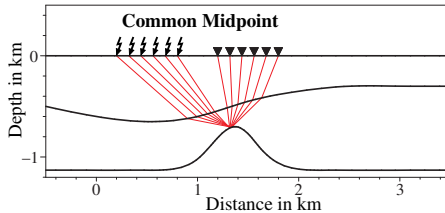
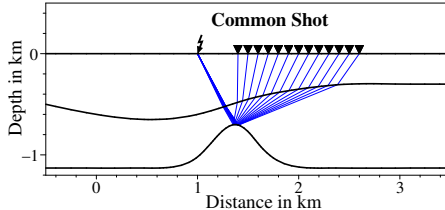
Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- **CMP-Datenbearbeitung**
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Sortierung nach gemeinsamen Mittelpunkten (CMP)

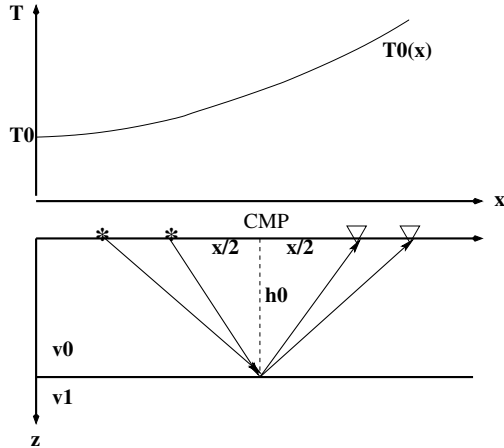


- Messgeometrie: Common Shot
- Umsortierung in CMP-Geometrie (CMP=Common Mid Point):
CMP=Mittelpunkt zwischen
Quellpunkt und Empfänger
- Seismogramme einer CMP-Sektion
beleuchten ähnliche
Reflexionspunkte

Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Laufzeitkurve CMP-Sektion - söhlige Schicht



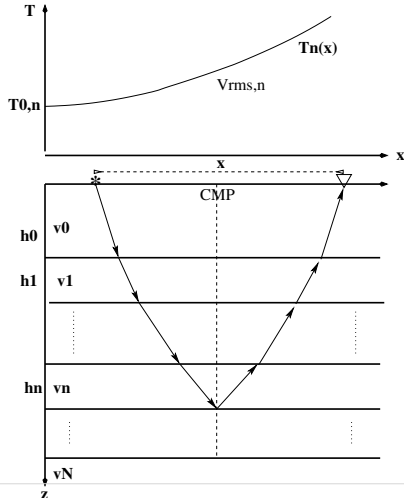
Laufzeitgleichung (exakt):

$$T_0^2(x) = \frac{x^2}{v_0^2} + T_{0,0}^2$$

Laufzeit des Lotstrahls:

$$T_{0,0} = \frac{2h_0}{v_0}$$

Laufzeitkurve CMP-Sektion - söhliger Mehrschichtfall



Ansatz:

$$T_n^2(x) = \frac{x^2}{v_{rms,n}^2} + T_{0,n}^2 \quad (n = 0, \dots, N)$$

Dix'sche Formel:

$$v_{rms,n}^2 = \frac{\sum_{i=0}^n v_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=0}^n \Delta t_i} : \text{"RMS-Geschwindigkeit"}$$

Laufzeit des Lotstrahls:

$$T_{0,n} = \sum_{i=0}^n \Delta t_i$$

Lotzeiten:

$$\Delta t_i = \frac{2h_i}{v_i}$$

Intervallgeschwindigkeiten: v_i

Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Herleitung Dix-Formel

Wir machen den Ansatz für die Laufzeitkurve der n-ten Reflexion

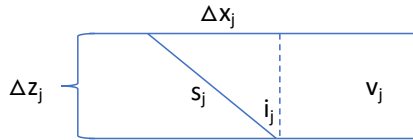
$$T_n(x) = \sqrt{T_{0,n}^2 + \frac{x^2}{\tilde{v}_n^2}}, \quad \tilde{v}_n^2 := v_{rms,n}^2$$

Dies ist der erste Term einer Taylorentwicklung und gilt daher nur für hinreichend kleine x .
Für den Strahlparameter gilt nach dem Brechungsgesetz von Snellius

$$p_n = \frac{\partial T_n}{\partial x} = \frac{x}{T_n \tilde{v}_n^2} = \frac{\sin(i_j)}{v_j} = \text{const}$$

Herleitung Dix-Formel

Wir betrachten ein Strahlsegment in der Schicht j



Für den Offset x können wir schreiben:

$$x = 2 \sum_{j=0}^n \Delta x_j = 2 \sum_{j=0}^n \sin(i_j) s_j = 2 \sum_{j=0}^n \frac{\sin(i_j)}{v_j} s_j v_j = \sum_{j=0}^n \frac{x}{T_n \tilde{v}_n^2} v_j^2 \Delta t_j \quad (1)$$

Herleitung Dix-Formel

Wir kürzen x in Gleichung 1 und erhalten:

$$\tilde{v}_n^2 T_n = \sum_{j=0}^n v_j^2 \Delta t_j \quad \text{für alle } x \quad (2)$$

Für $x=0$ gilt:

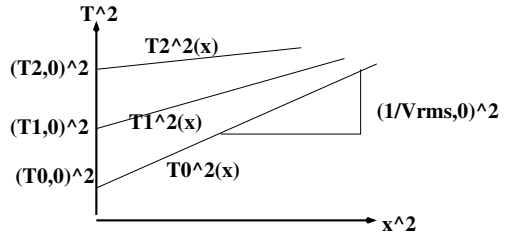
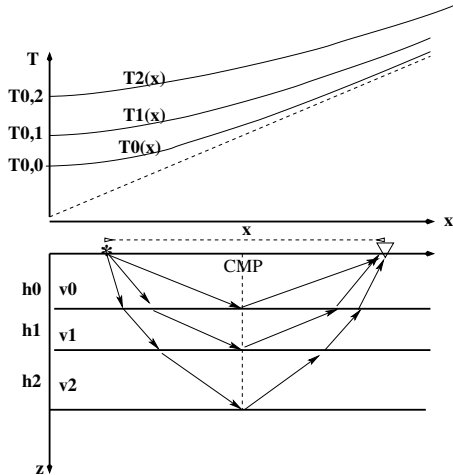
$$\tilde{v}_n^2 T_{0,n} = \sum_{j=0}^n v_j^2 \Delta t_{0,j}, \quad T_{0,n} = \sum_{j=0}^n \Delta t_{0,j} \quad \Delta t_{0,j}: \text{Lotzeiten} \quad (3)$$

Die Dix'sche Formel berücksichtigt die Brechung.

Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Rekonstruktion der Schichtgeschwindigkeiten



Für jede Reflexion kann aus der Krümmung der Laufzeitkurve eine RMS-Geschwindigkeit v_{rms} abgeschätzt werden.

Rekonstruktion der Schichtgeschwindigkeiten

Die rekursive Anwendung der Dix'schen Formel erlaubt die Berechnung der Intervallgeschwindigkeiten v_i aus den beobachteten $v_{rms,n}$:

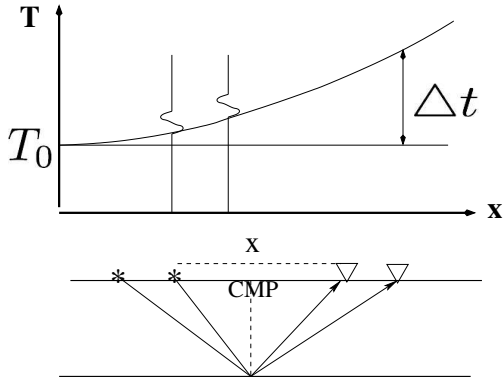
$$\begin{aligned}n = 0 : v_0^2 &= v_{rms,0}^2 \\n = 1 : v_1^2 &= \frac{1}{\Delta t_1} (v_{rms,1}^2 T_{0,1} - v_{rms,0}^2 T_{0,0}) \\&\dots \\n : v_n^2 &= \frac{1}{\Delta t_n} (v_{rms,n}^2 T_{0,n} - v_{rms,n-1}^2 T_{0,n-1})\end{aligned}$$

Diese Analyse wird für jede CMP-Sektion durchgeführt. Man erhält so ein ein Modell der Schichtgeschwindigkeiten (Intervallgeschwindigkeiten)

Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Das Normal-Moveout (NMO)

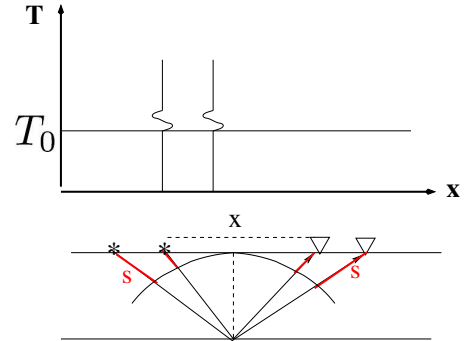
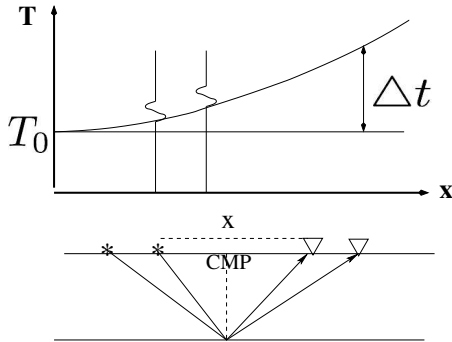


Das Normal-Moveout beschrieben durch

$$\Delta t(x) = T(x) - T_0 = \sqrt{\frac{x^2}{v_{rms}^2} + T_0^2} - T_0$$

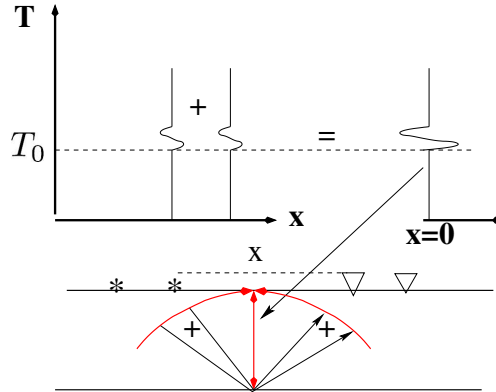
gibt die Abweichung der Laufzeit von der Laufzeit des Lotstrahls an.

Die Normal-Moveout Korrektur (NMO-Korrektur)



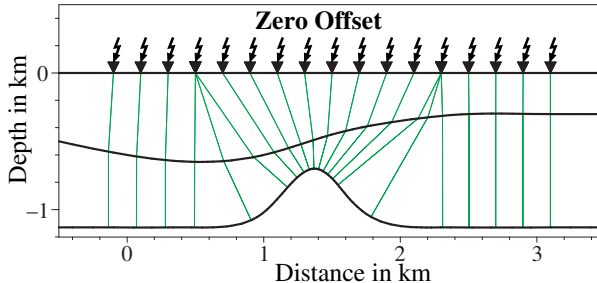
Die Normal-Moveout Korrektur korrigiert die Krümmung der Laufzeitkurve, so dass die Signale der Reflexion alle zur Laufzeit des Lotstrahls eintreffen.

Summation (Stapelung)



Die Stapelung summiert die reflektierten Signale auf den Lotstrahl (Zero-Offset-Strahl)

Zero-Offset-Sektion

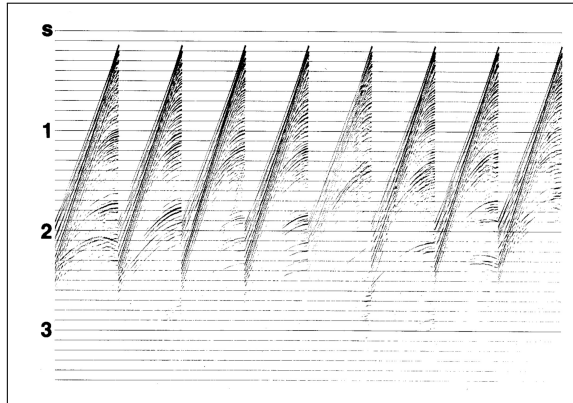


- Ergebnis der Stapelung:
ZO-Sektion
- Abbild für Lotstrahlen
- Verbesserung des
Signal-Störverhältnisses
durch Stapelung

Agenda

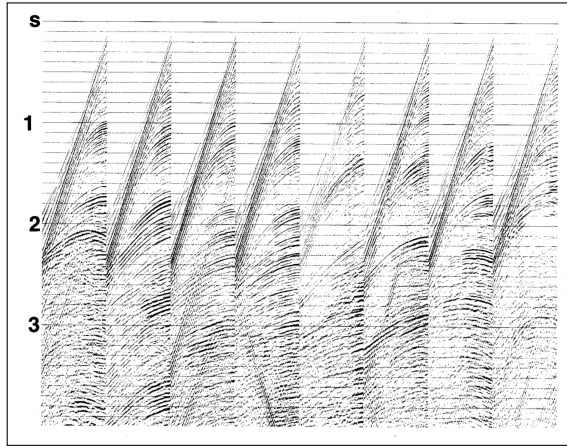
- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Schuss-Sektionen eines marinen Streamers



(Yilmaz 2001)

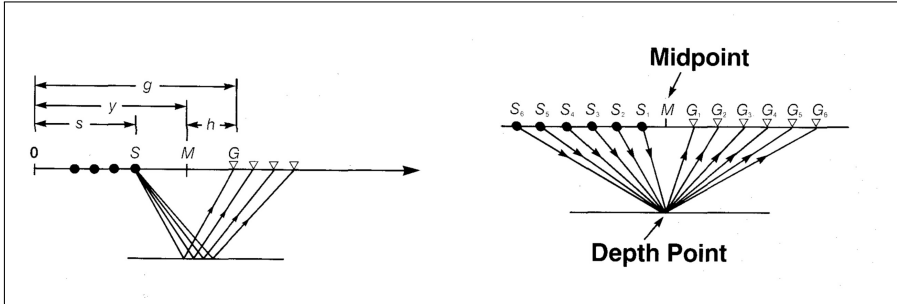
1. Amplitudenverstärkung



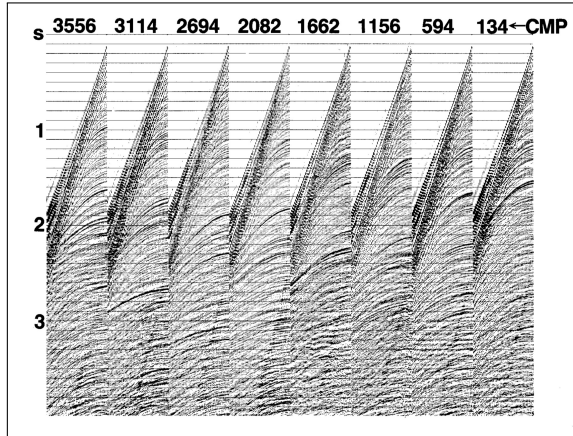
2. CMP-Sortierung

Schuß-Sektion

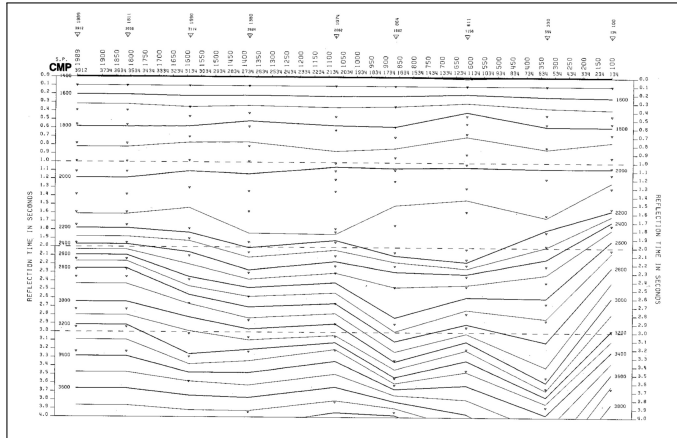
CMP-Sektion



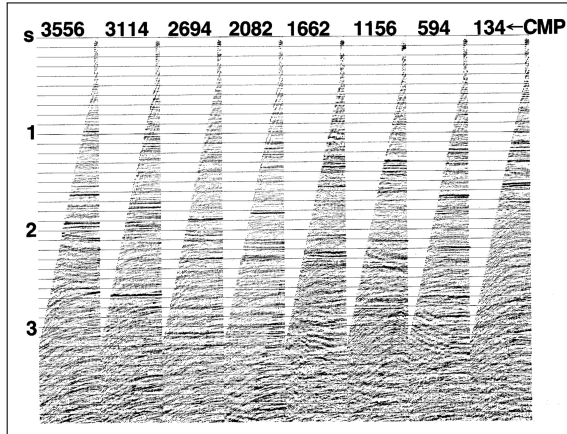
2. CMP-Sektionen



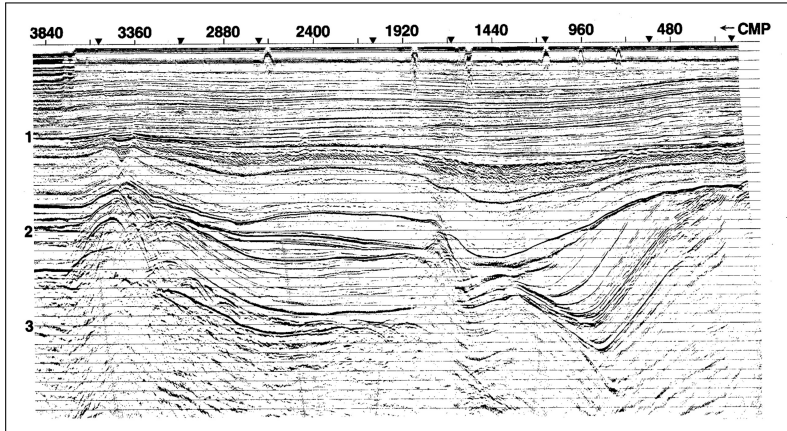
3. Geschwindigkeitsanalyse - Modell von V_{rms}



4. Hyperbolische Laufzeitkorrektur



5. Stapelung liefert ZO-Sektion



Agenda

- Einführung
- Signalamplituden
- CMP-Datenbearbeitung
 - Sortierung
 - Laufzeitkurven
 - Herleitung der Dix-Formel
 - Geschwindigkeitsanalyse
 - Laufzeitkorrektur und Stapelung
 - Beispiel
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Ziel der Reflexionsseismik ist die Abbildung von Diskontinuitäten sowie die Rekonstruktion der Ausbreitungsgeschwindigkeiten.
- Die Stärke des reflektierten Signals wird maßgeblich durch den Impedanzkontrast bestimmt.
- Das CMP-Verfahren macht die Annahme hyperbolischer Laufzeitkurven und liefert durch einfache Datenbearbeitungsschritte ein erstes Geschwindigkeitsmodell und Abbild der Diskontinuitäten:
 - CMP-Sortierung
 - Bestimmung RMS-Geschwindigkeiten v_{rms}, n
 - Umrechnung in Intervallgeschwindigkeiten v_i durch rekursive Anwendung der Dix'schen Formel
 - NMO-Korrektur und Stapelung approximiert ZO-Sektion
- → Erstes Abbild der geologischen Diskontinuitäten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

✉ Thomas.Bohlen@kit.edu

🔗 <http://www.gpi.kit.edu/>

Veröffentlicht unter  Lizenz.

Referenzen

Yilmaz, Ö. (2001), *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*, Society of Exploration Geophysicists.

URL: <https://doi.org/10.1190/1.9781560801580>