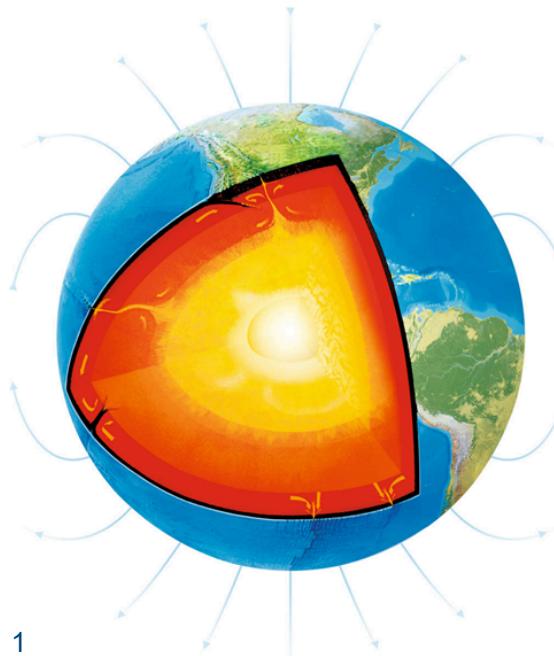


# Einführung in die Geophysik

## Teil 12: Seismik II

2. BSc Geophysik und Geoinformatik (BGIP)



*Thomas Günther*  
*(thomas.guenther@geophysik.tu-freiberg.de)*

# Previously on AnGy

1. ~~Gravimetric (1.5)~~
2. ~~Geomagnetik (2.5)~~
3. ~~Geelektrik+Inversion (3)~~
4. ~~Induktive Elektromagnetik (1.5)~~
5. ~~Georadar (0.5)~~
6. Seismik (21)

# Termine

## Vorlesungen

- 1.7. Neue Erkundungsmethoden (Überblick)
- 8.7. Zusammenfassung und Fragestunde

## Übungen jeweils Freitags, 08-09:30 Uhr

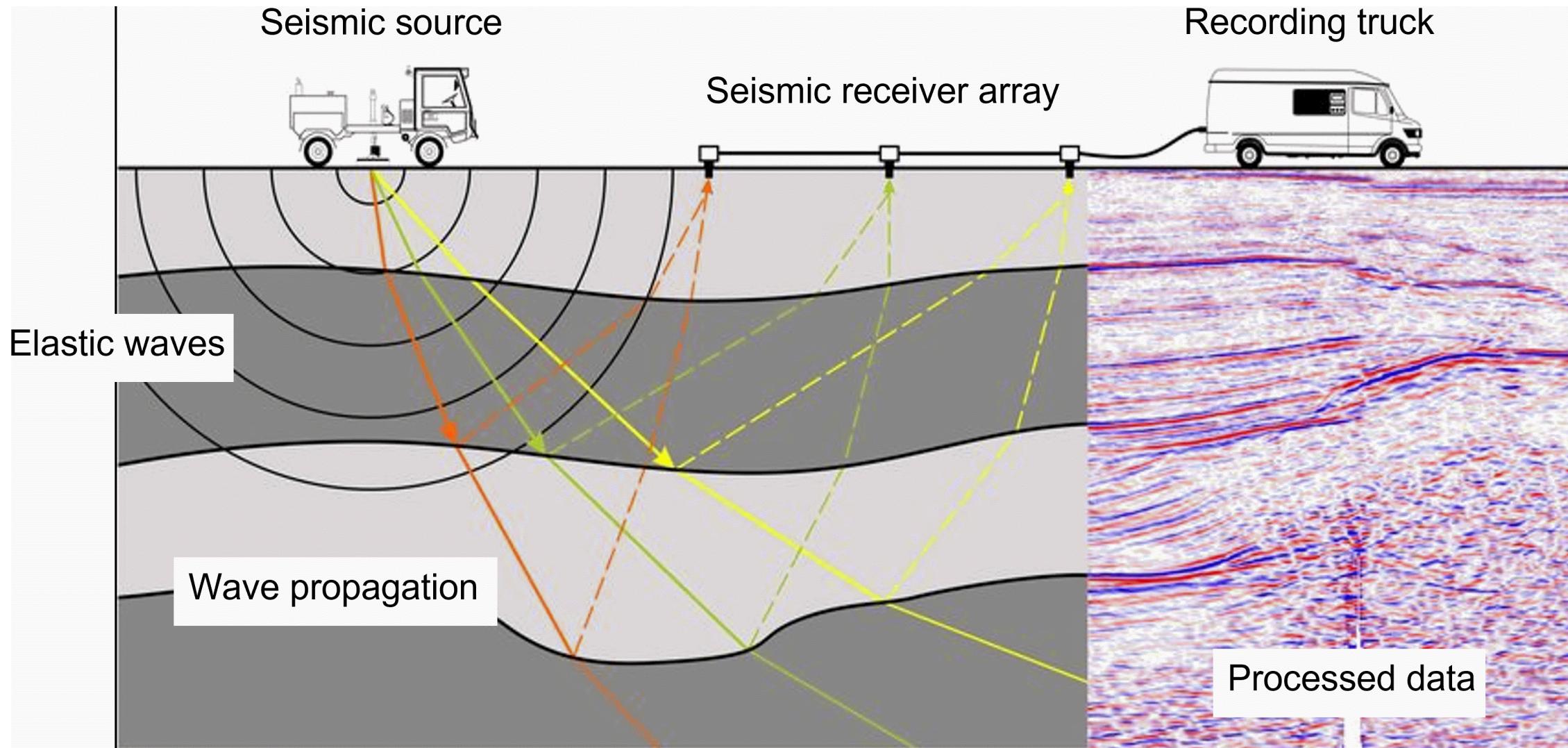
- 27.06. Versuch Refraktions-Seismik: 8 Uhr Parkplatz
- 04.07. Auswertung EM + Seismik: Linux-Pool
- 11.07. Zusammenfassung der Belege

# Auswertung Geoelektrik

s. Notebook

Beleg zusammen mit EM38 und Georadar

# Seismik



# Das Hookesche Gesetz

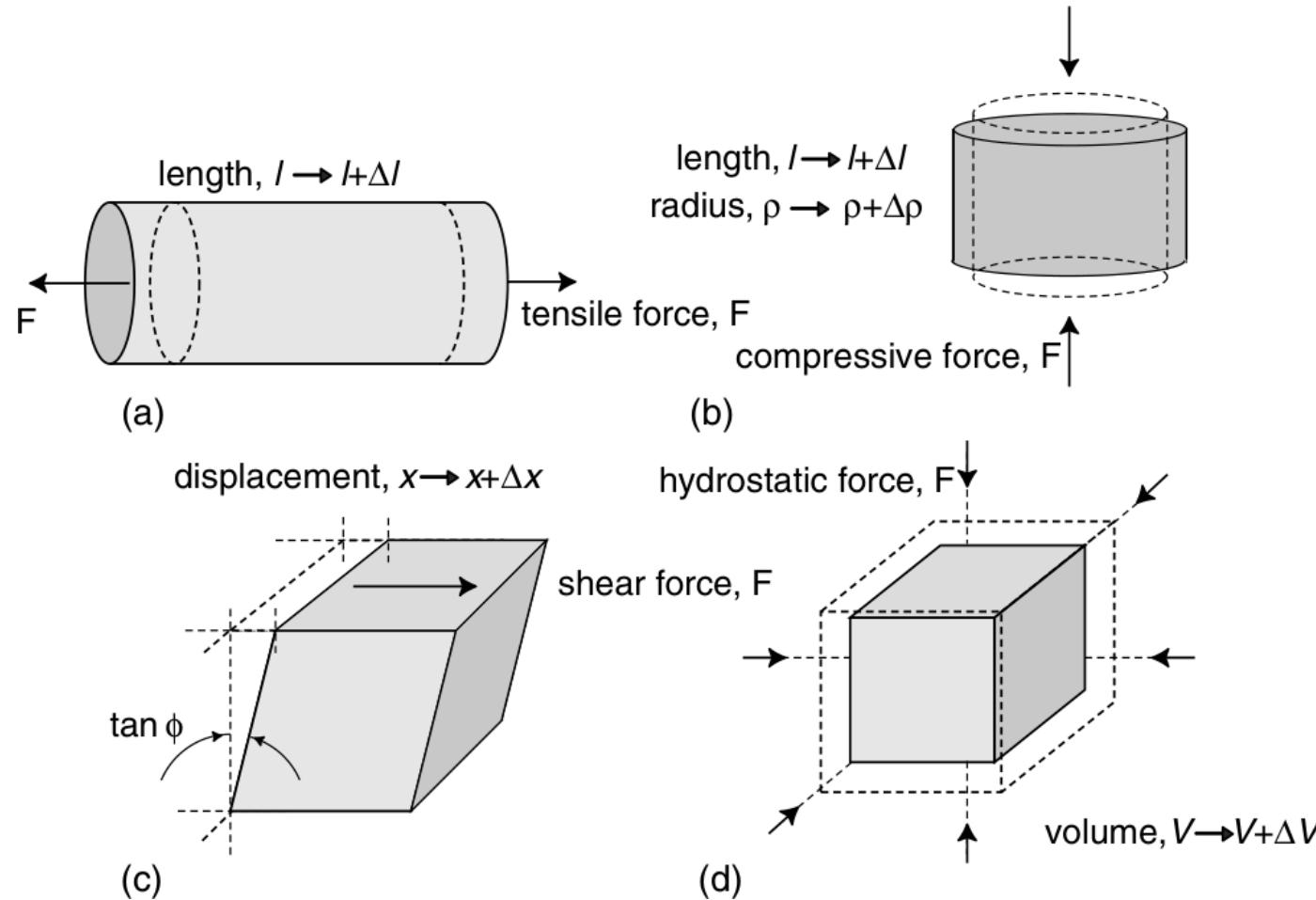
Federsysteme:  $F = D \cdot \Delta l \Rightarrow$  Spannung  $\sigma_x = F_x/A$

Dehnung  $\epsilon_x = \Delta l/l \Rightarrow F_x/A = (D \cdot l/A)\epsilon_x \Rightarrow \sigma_x = E\epsilon_x$

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = 2\mu \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{xy} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{xz} & \epsilon_{yz} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix} + \lambda(\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz})\mathbf{I}$$

$\mu, \lambda$  - Lamé-sche Konstanten

# Elastische Moduli



- a) Elastizitätsmodul  $E = \mu(3\lambda + 2\mu)/(\lambda + \mu)$ , b) Poisson-Zahl  $\nu$
- c) Schermodul  $G$ , d) Kompressionsmodul  $k = \lambda + 2\mu/3$

# Wellengleichung

$$\text{Dilatation } \Delta = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz} \Rightarrow \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 \Delta$$

Wellengleichung mit  $v_P = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

Wellengleichung für  $\theta_x = \partial w / \partial y - \partial v / \partial z$  mit  $v_S = \sqrt{\mu/\rho}$

# **Seismik - Wellentypen**

## **Raumwellen:**

- P-Welle: Schwingung in Ausbreitungsrichtung
- S-Welle: Schwingung senkrecht zu Ausbreitungsrichtung

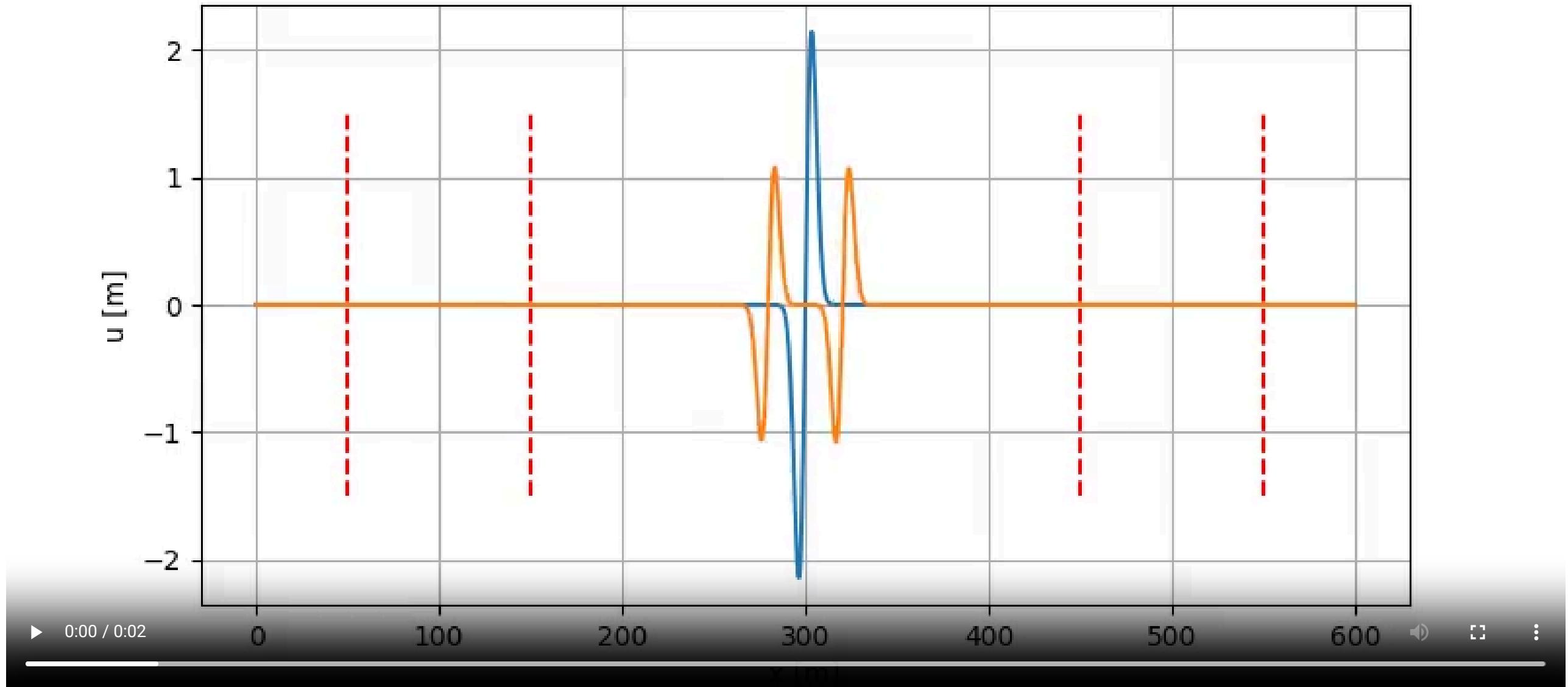
## **Oberflächenwellen (Kopplung P-S an Grenzfläche)**

- Love-Welle: Bewegung senkrecht zu Ausbreitung
- Rayleigh-Welle: elliptisch retrograde Bewegung

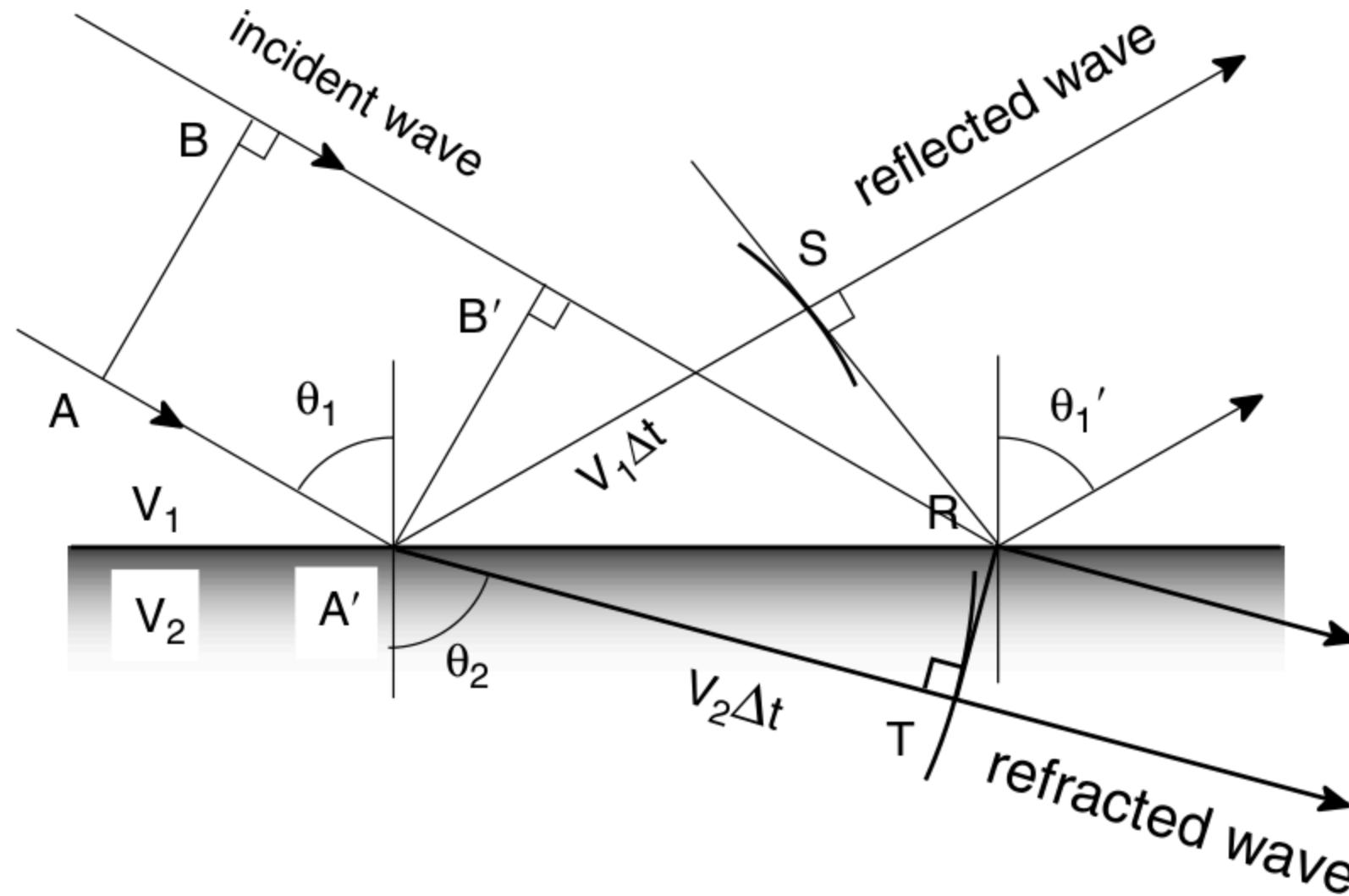
# Reflektion & Transmission

- Akustische Impedanz  $Z = v\rho$  (Geschwindigkeit\*Dichte)
- Grenzflächen  $Z$  ( $v$  oder  $\rho$ ) ändert sich: Reflektion & Transmission
- Reflektionskoeffizient  $R = \frac{A_R}{A_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$  ( $-1 \leq R \leq +1$ )
- Transmissionskoeffizient  $T = \frac{A_T}{A_0} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$  ( $0 \leq T \leq 2$ )
- Extremfälle:
  - $Z_1 = Z_2$ : R=0, T=1 (pure Transmission)
  - $Z_1 \gg Z_2$ : R=-1, T=2 (Reflektion am losen Ende)
  - $Z_1 \ll Z_2$ : R=1, T=0 (Reflektion am festen Ende)

# Wellenausbreitung



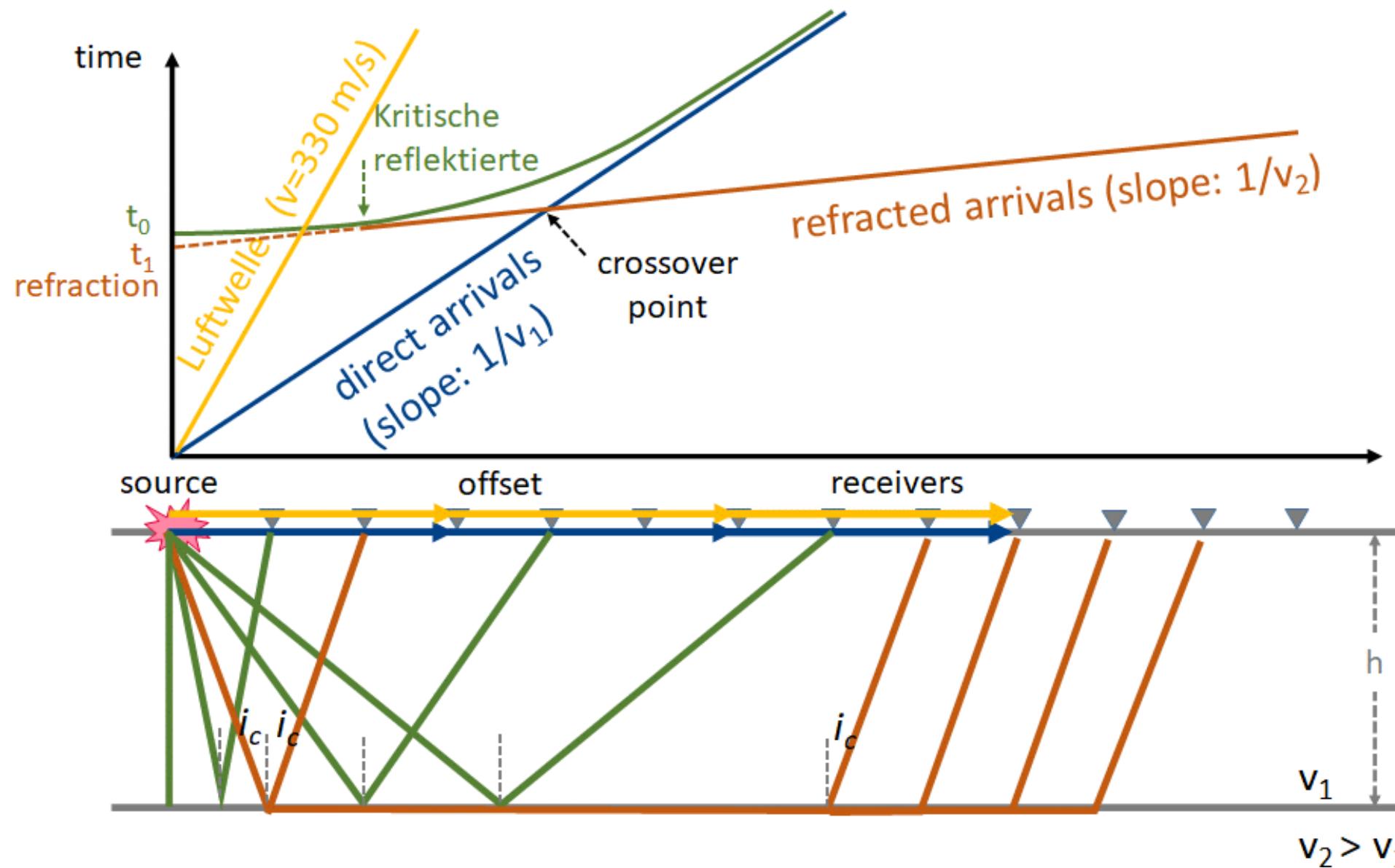
# Brechungsgesetze



- Reflektion:  
Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Brechung:  
$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}$$
- kritisch refraktierte ( $\theta_2=90^\circ$ ):  
$$\sin \theta_1 = v_1/v_2$$

Reflektion & Brechung einer ebenen Welle (Telford, 1990)

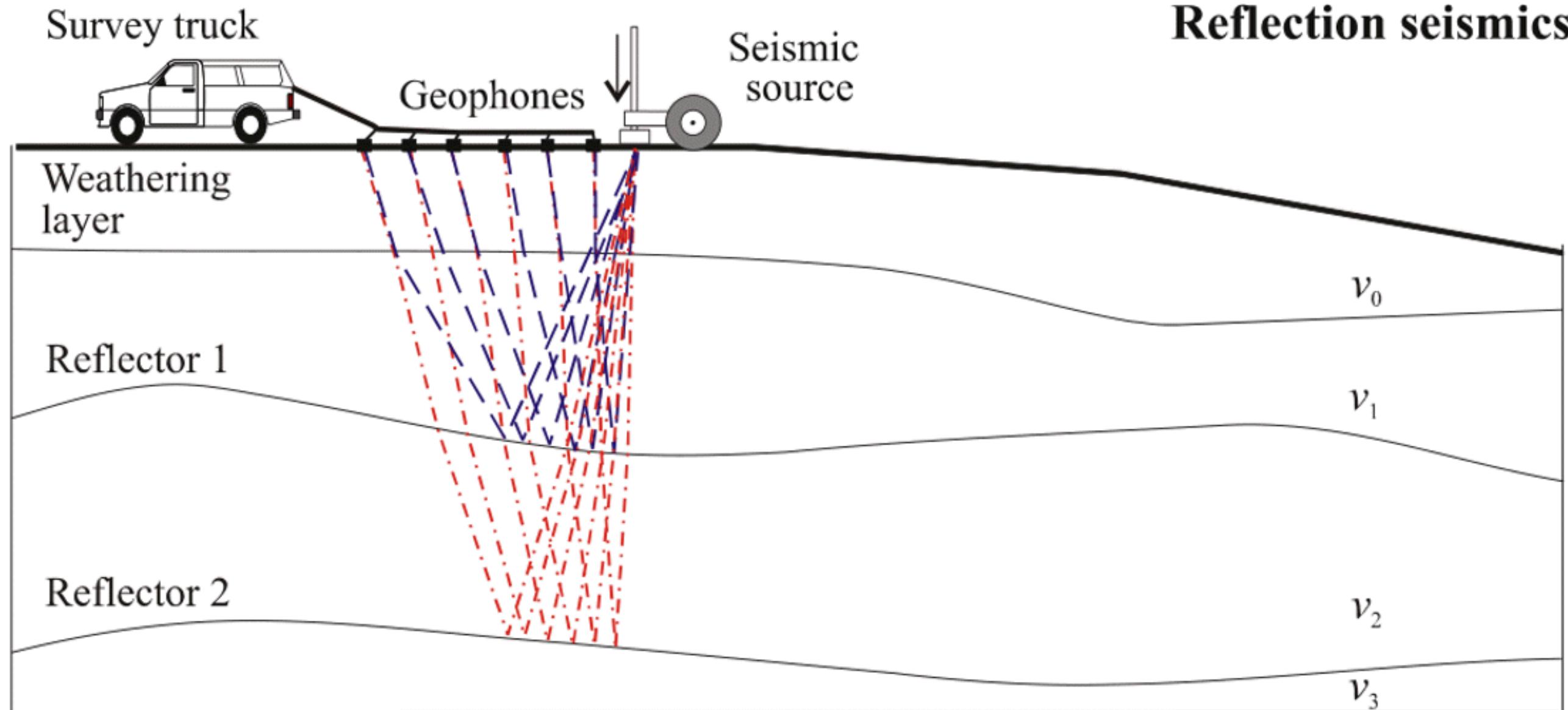
# Ausbreitungswege und Laufzeitkurven



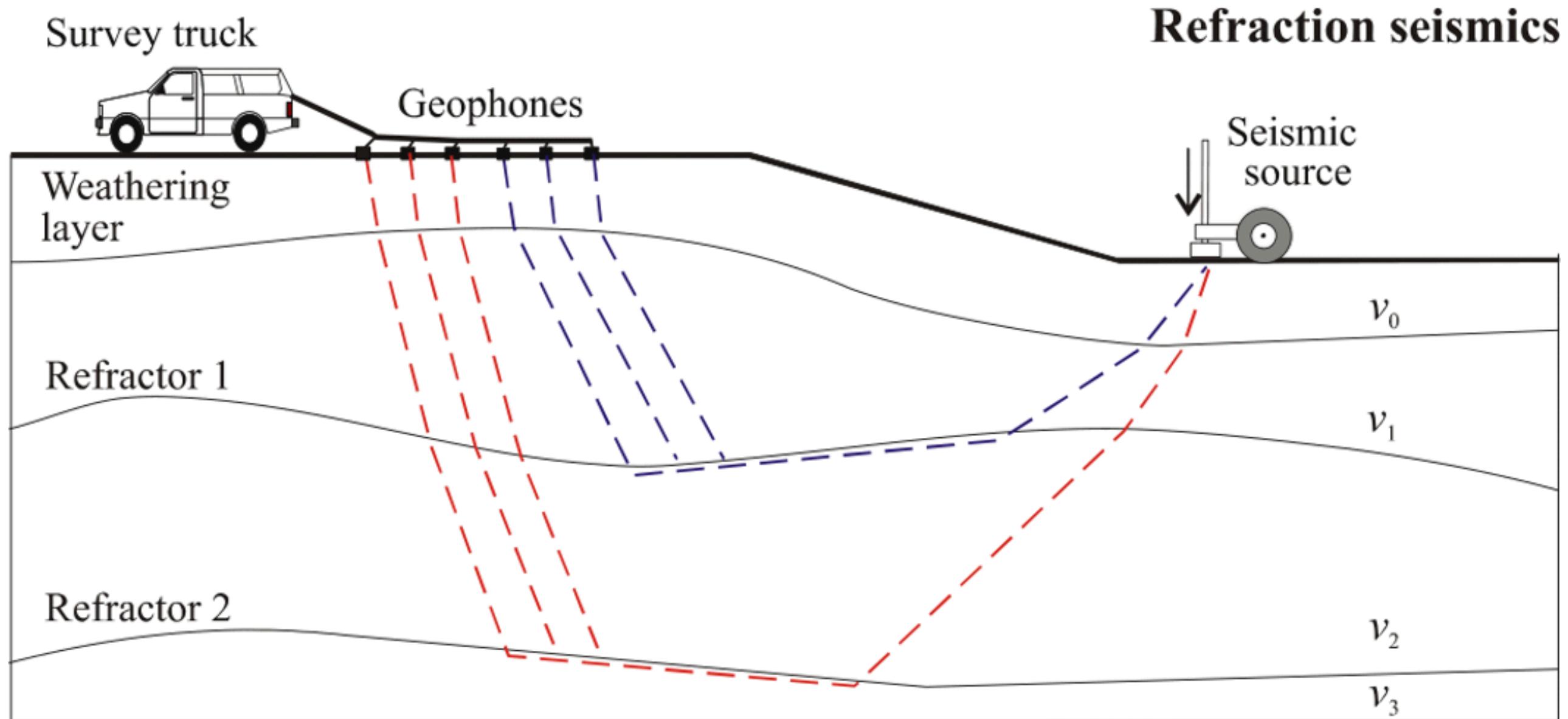
# Seismische Erkundung

- Reflektions-Seismik
- Refraktions-Seismik
- Oberflächenwellen-Seismik
- Crosshole-Tomographie

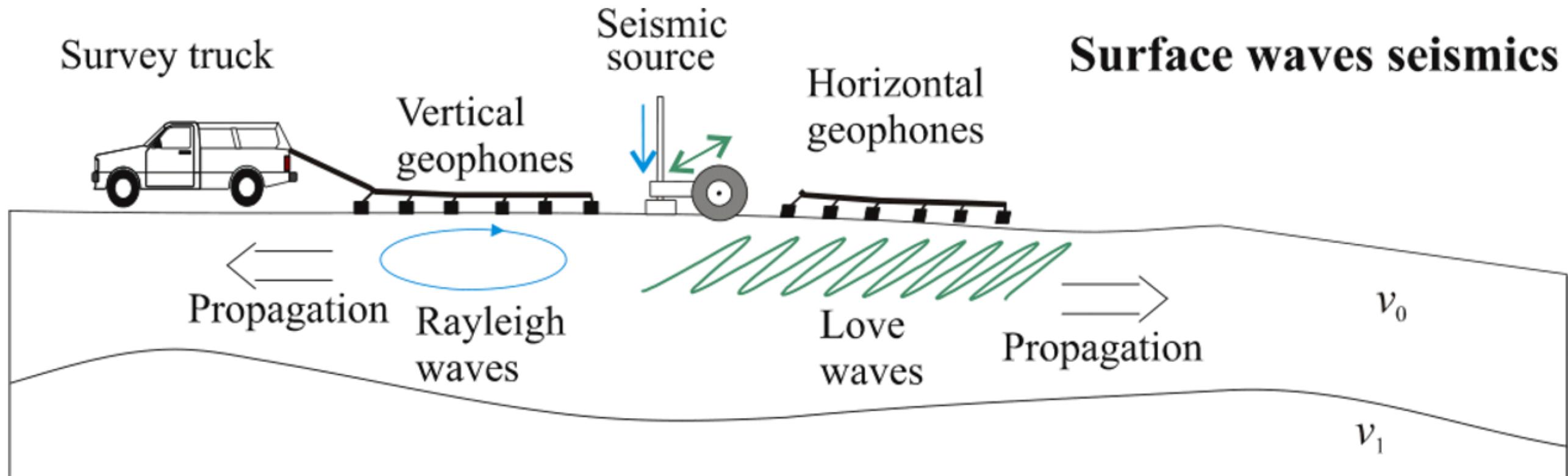
# Reflektions-Seismik



# Refraktions-Seismik

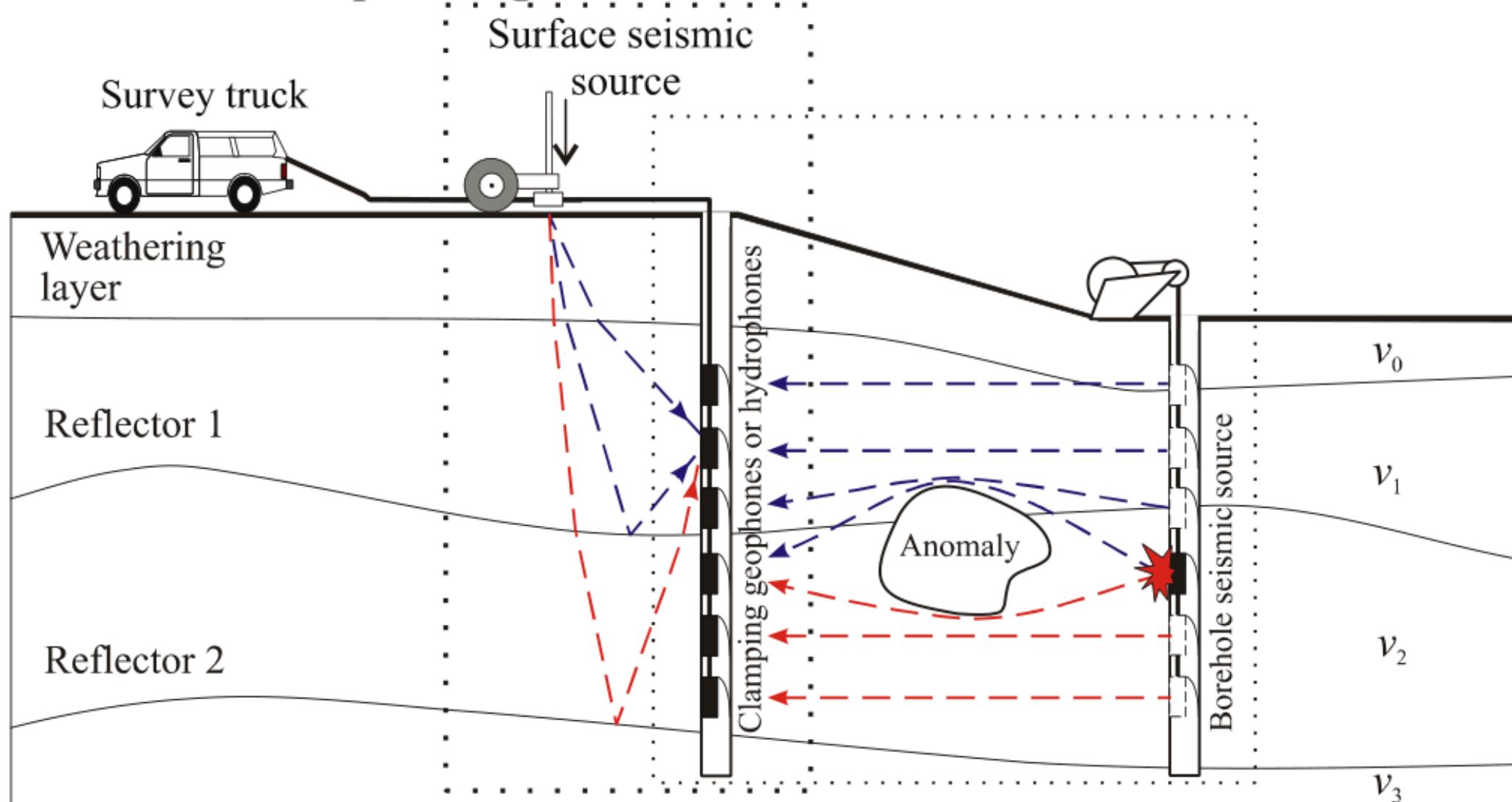


# Oberflächenwellen-Seismik



# VSP und Crosshole-Tomographie

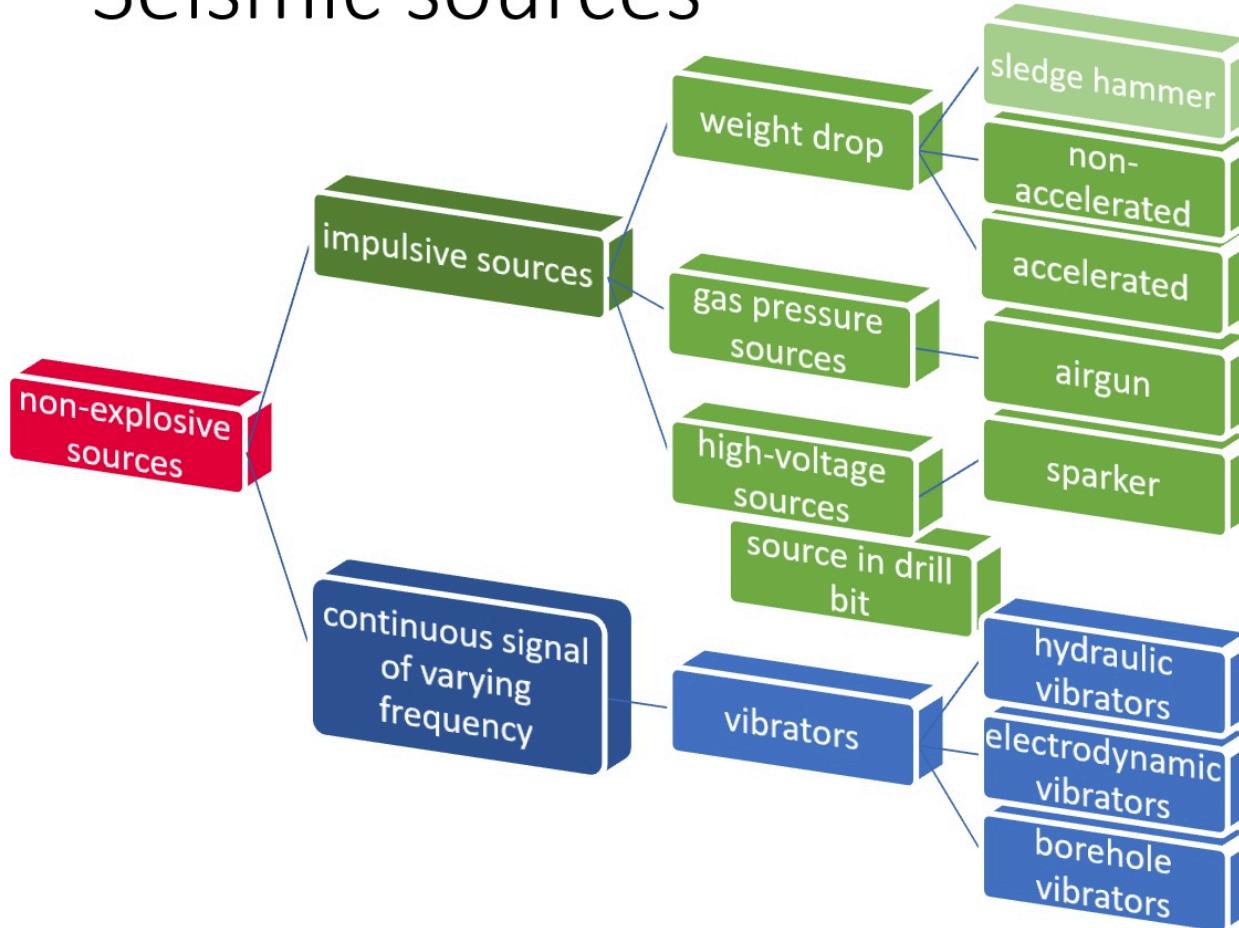
## Vertical seismic profiling - VSP



## Crosshole seismics

# Seismische Quellen

## Seismic sources



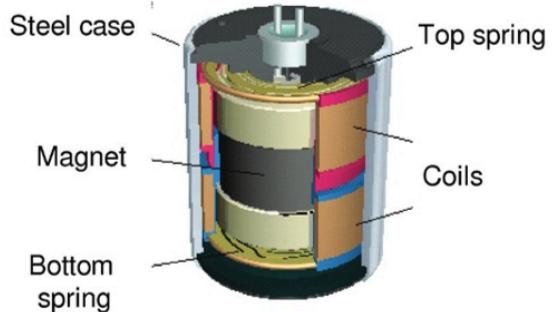
# Seismische Empfänger

## Seismic receivers

geophone



Registration unit

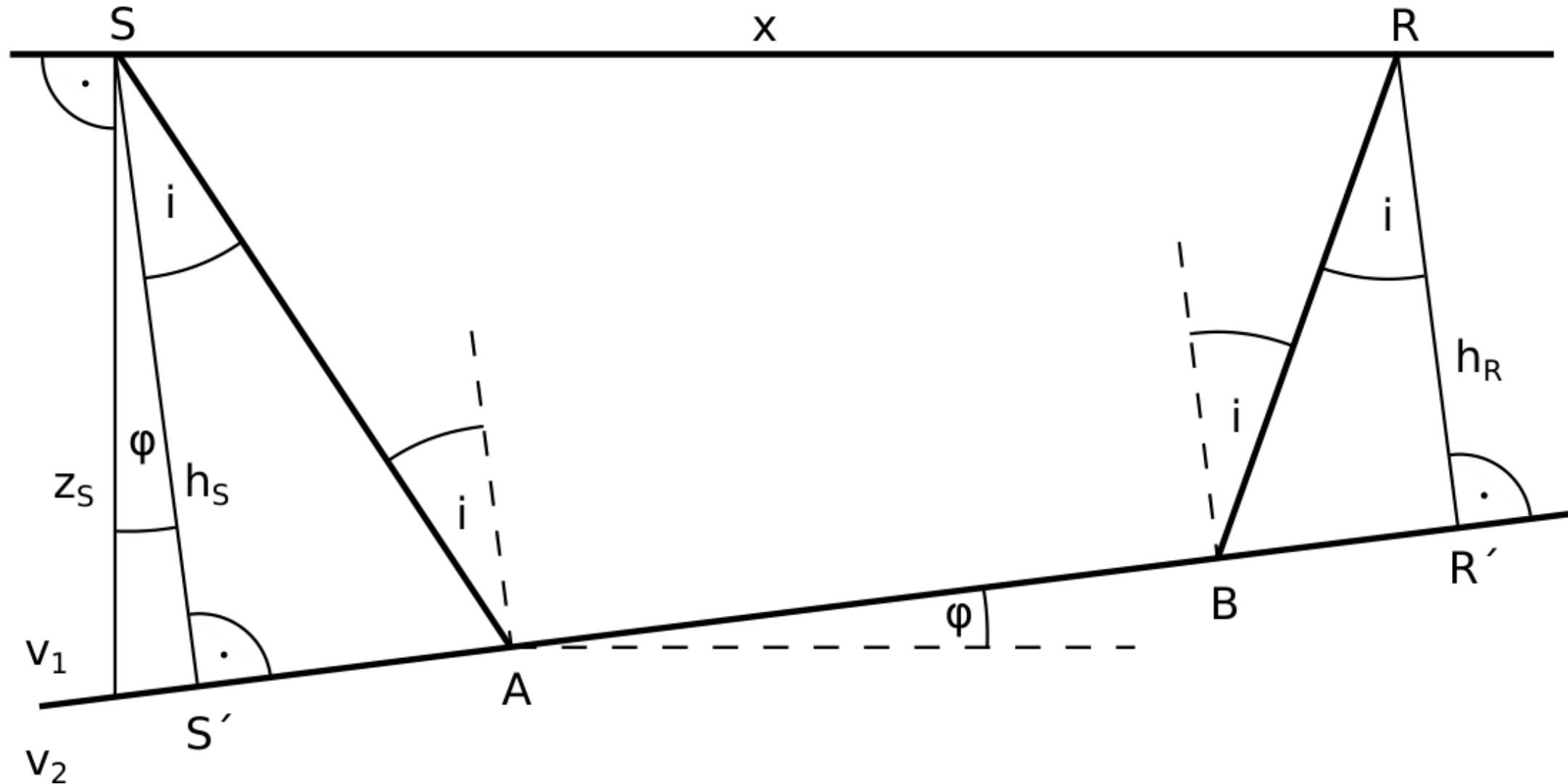


# Refraktionsseismik

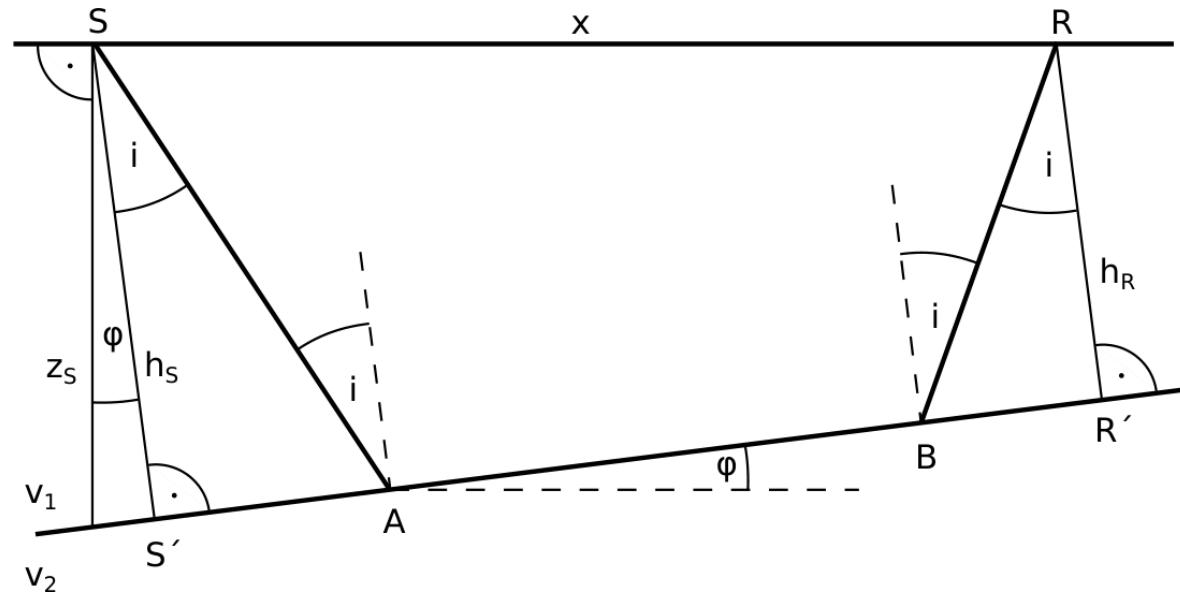
Notebook mit Laufzeitkurven für:

- konstante Geschwindigkeit
- Zweischicht-Fall
- Gradientmedium
- geneigter Refraktor

# Der geneigte Refraktor



# Refraktion am geneigten Refraktor



Bestimmung Neigung direkte Welle ( $v_1$ ) und refraktierte für Hin- und Rückschuss

$$t = \frac{\overline{SA}}{v_1} + \frac{\overline{AB}}{v_2} + \frac{\overline{BR}}{v_1}$$

$$t = \frac{\overline{SA}}{v_1} + \frac{\overline{AB}}{v_1} \sin i + \frac{\overline{BR}}{v_1}$$

$$tv_1 = 2z_S \cos i \cos \phi + x \sin(i - \phi)$$

$$\text{Hinschuss } t^+ = t_i^+ + x \frac{\sin(i-\phi)}{v_1}$$

$$\text{Rückschuss } t^- = t_i^- + x \frac{\sin(i+\phi)}{v_1}$$

# Hin+Rückschuss

Die Steigung von Hin- und Rückschuss ist verschieden:

$$\text{Hinschuss: } \frac{\sin(i-\phi)}{v_1} = \frac{1}{v_2^S}, \text{ Rückschuss: } \frac{\sin(i+\phi)}{v_1} = \frac{1}{v_2^R}$$

$$\sin(i \pm \phi) = \sin(i) \cos(\phi) \pm \cos(i) \sin(\phi) \approx \sin(i) \pm \phi \cos(i)$$

Addition der beiden Gleichungen ergibt

$$\sin(i) = \frac{v_1}{v_2} \approx \frac{v_1}{2} \left( \frac{1}{v_2^S} + \frac{1}{v_2^R} \right) \Rightarrow \frac{1}{v_2} \approx \frac{1}{2} \left( \frac{1}{v_2^S} + \frac{1}{v_2^R} \right)$$

# Zusammenfassung geneigter Refraktor

1. Bestimmung von  $v_1$  über Steigung der direkten Welle
2. Bestimmung  $v_2$  aus Scheingeschwindigkeiten der Refraktierten

$$\frac{1}{v_2} \approx \frac{1}{2} \left( \frac{1}{v_2^S} + \frac{1}{v_2^R} \right)$$

3. Schichtmächtigkeiten unter Schusspunkten aus Interceptzeiten:

$$i = \sin^{-1} \frac{v_1}{v_2}, \phi = \frac{1}{2} \left( \sin^{-1} \frac{v_1}{v_2^S} - \sin^{-1} \frac{v_1}{v_2^R} \right) \text{ & } z_{S/R} = \frac{v_1 t_i^{S/R}}{2 \cos i \cos \phi}$$