

# Geophysikalische Verfahren in der Hydro- und Ingenieurgeologie

## **Zielsetzung**

In der Lehrveranstaltung wird zunächst ein Überblick über die gängigsten geophysikalischen Verfahren, die in der Hydro- und Ingenieurgeologie eingesetzt werden, gegeben. Im Rahmen von praktischen Übungen werden dann die am Geologischen Institut vorhandenen geophysikalischen Messgeräte vorgestellt. In dem abschließenden Teil werden die im Rahmen des Feldpraktikums gewonnenen Messungen ausgewertet und interpretiert.

## **Termin und Ort**

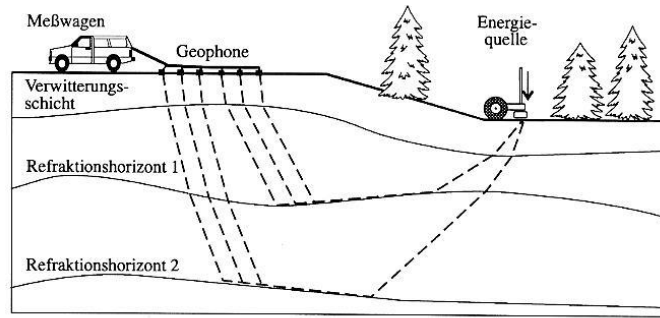
Kompaktkurs vom 22. – 26. Februar 2010, jeweils 9-16 Uhr  
Hörsaal I, Institut für Geowissenschaften, Albertstr. 23b

## **Inhalt**

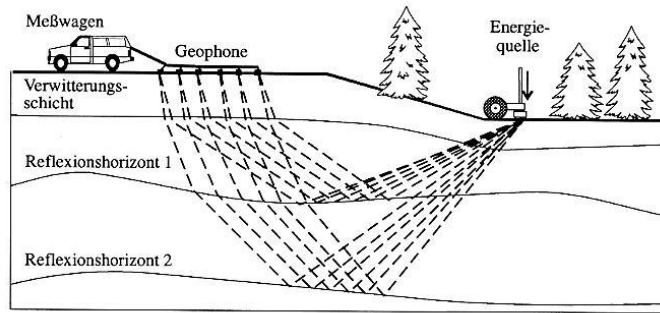
- methodische Grundlagen von
  - o Seismik
  - o Magnetik
  - o Elektrik
  - o Gravimetrie
- Planung einer geophysikalischen Messkampagne
- praktische Vorführung geophysikalischer Messtechniken (Geomagnetik, Gleichstromgeoelektrik, Hammerschlagseismik)
- Auswertung und Interpretation

## **Literatur**

- Bender, F. (1985): Angewandte Geowissenschaften – Band II: Methoden der Angewandten Geophysik. – Enke-Verlag, 766 S.
- Burger, H.R. (1992): Exploration geophysics of the shallow subsurface. – Prentice Hall, 489 p. (AF 400 28)
- Knödel, K., Krummel, H. & Lange, H. (1997): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten Band 3: Geophysik. – Springer-Verlag, Berlin, 1063 S. (AF 23 3.)
- Militzer, H. & Weber, F. (1984): Angewandte Geophysik Band 1 – 3. – Springer Verlag (AF 400 24 1. – 3.)
- Telford, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, R.E. (1990): Applied Geophysics. – 2nd edition, Cambridge University Press, 770 S. (AF 400 34)



Refraktionsseismik



Reflexionsseismik

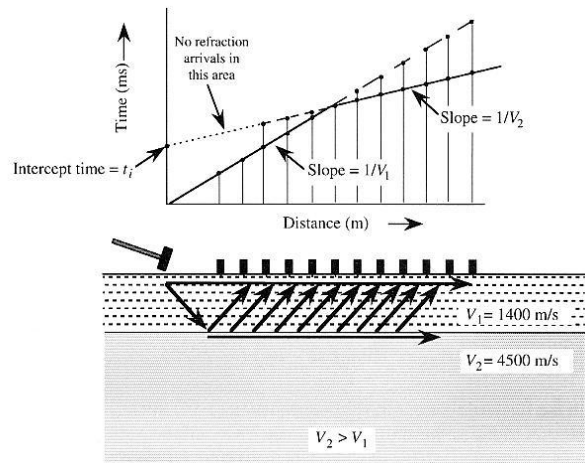
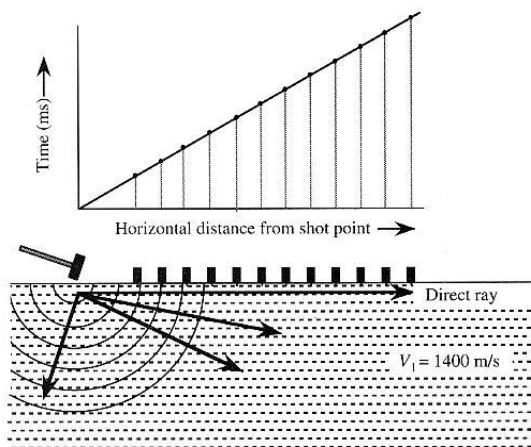
Knödel et al. (1997)

TABLE 2-2 Representative P-wave Velocities

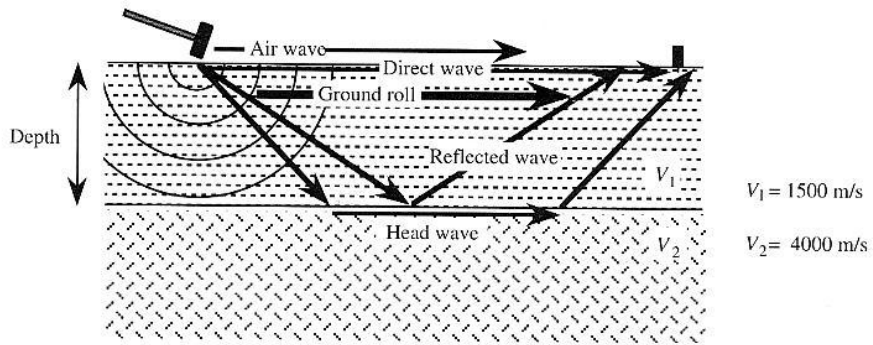
Unconsolidated Materials		Consolidated Materials		Other	
Weathered layer	300–900	Granite	5000–6000	Water	1400–1600
Soil	250–600	Basalt	5400–6400	Air	331.5
Alluvium	500–2000	Metamorphic rocks	3500–7000		
Clay	1100–2500	Sandstone and shale	2000–4500		
Sand		Limestone	2000–6000		
Unsaturated	200–1000				
Saturated	800–2200				
Sand and gravel					
Unsaturated	400–500				
Saturated	500–1500				
Glacial till					
Unsaturated	400–1000				
Saturated	1700				
Compacted	1200–2100				

Velocities in m/s

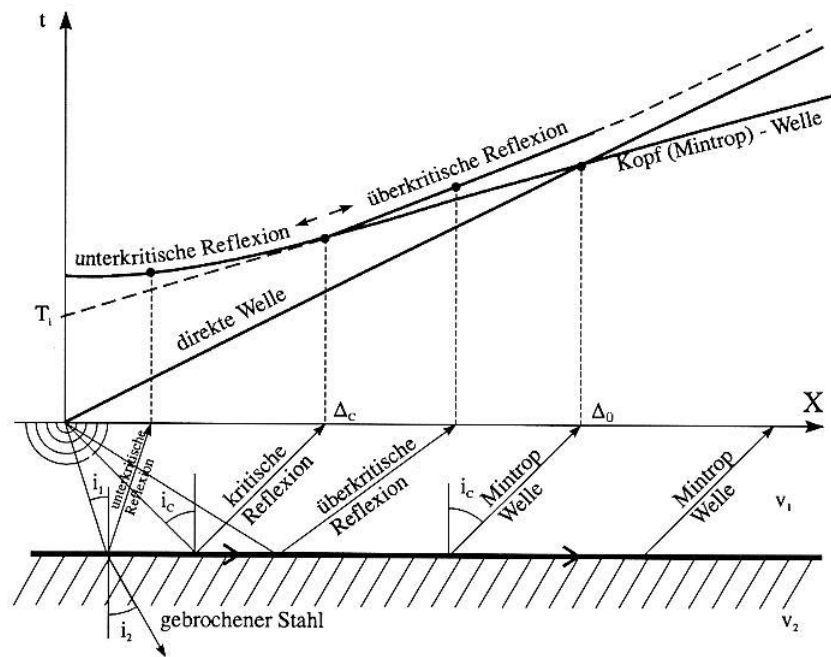
Burger (1992)



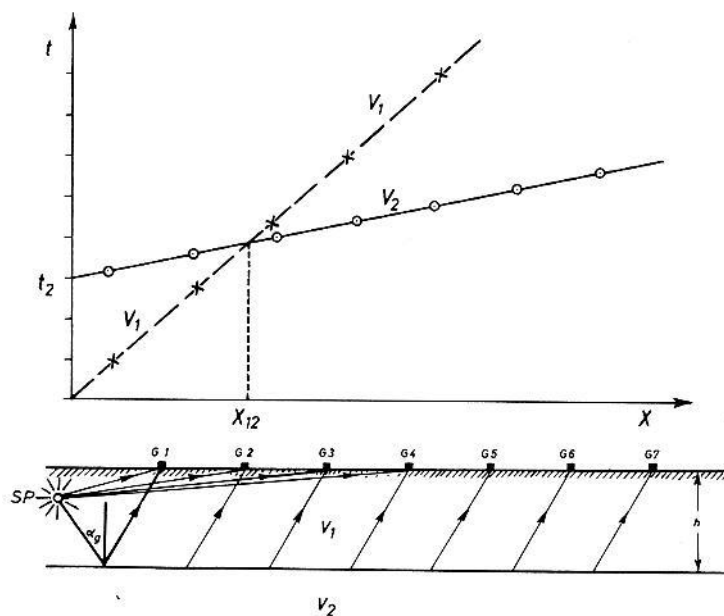
Burger (1992)



Burger (1992)



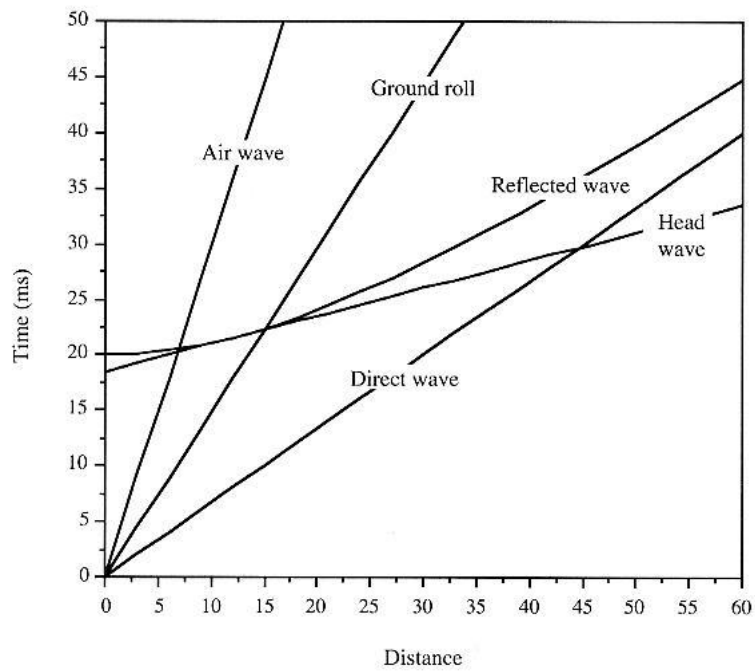
Knödel et al. (1997)



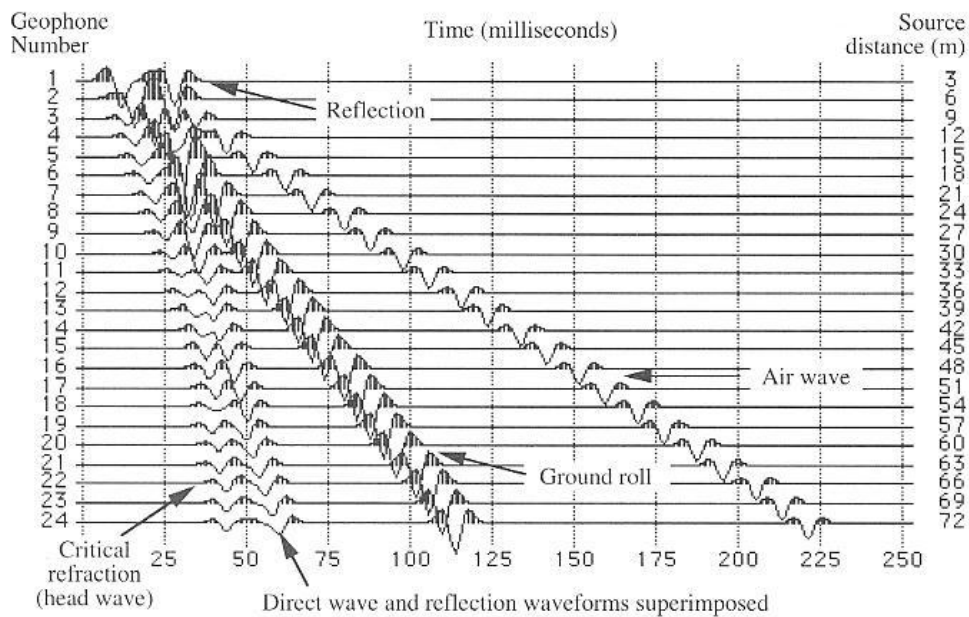
Dohr (1974)

Mächtigkeit über Überholentfernung

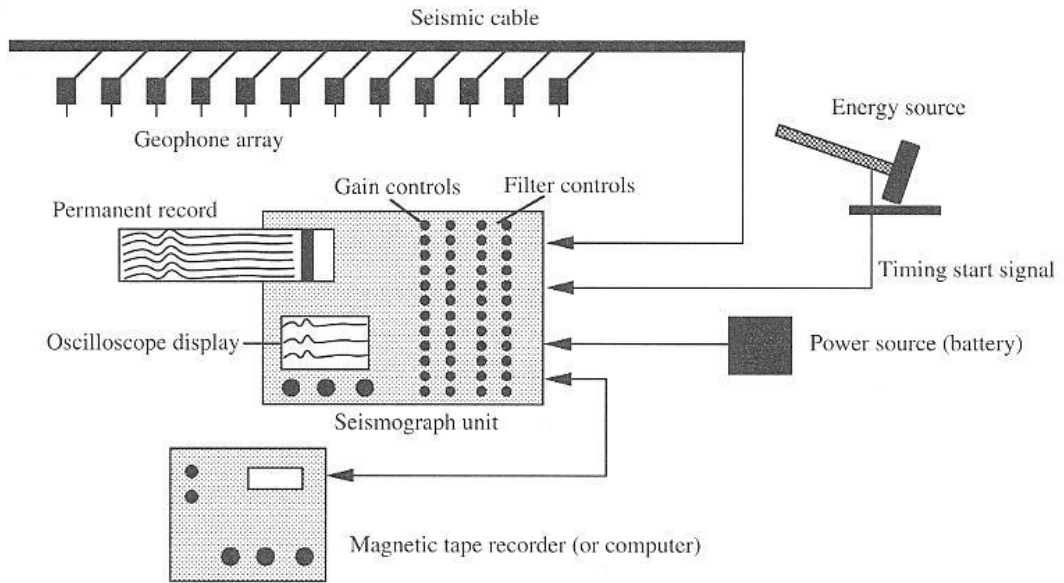
Mächtigkeit über Interceptzeit



Burger (1992)

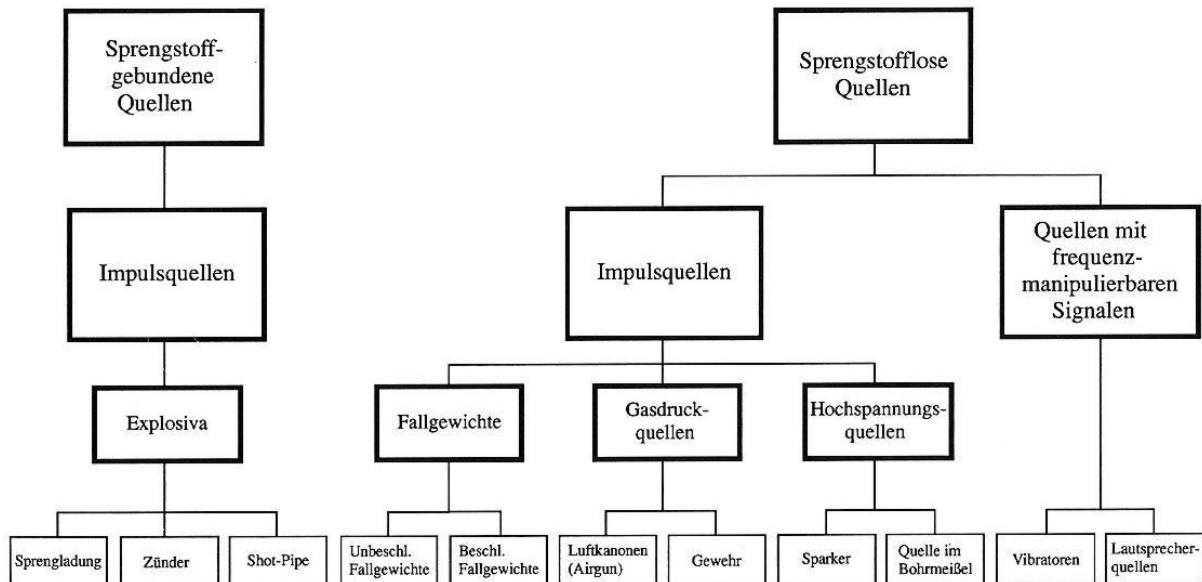


Burger (1992)

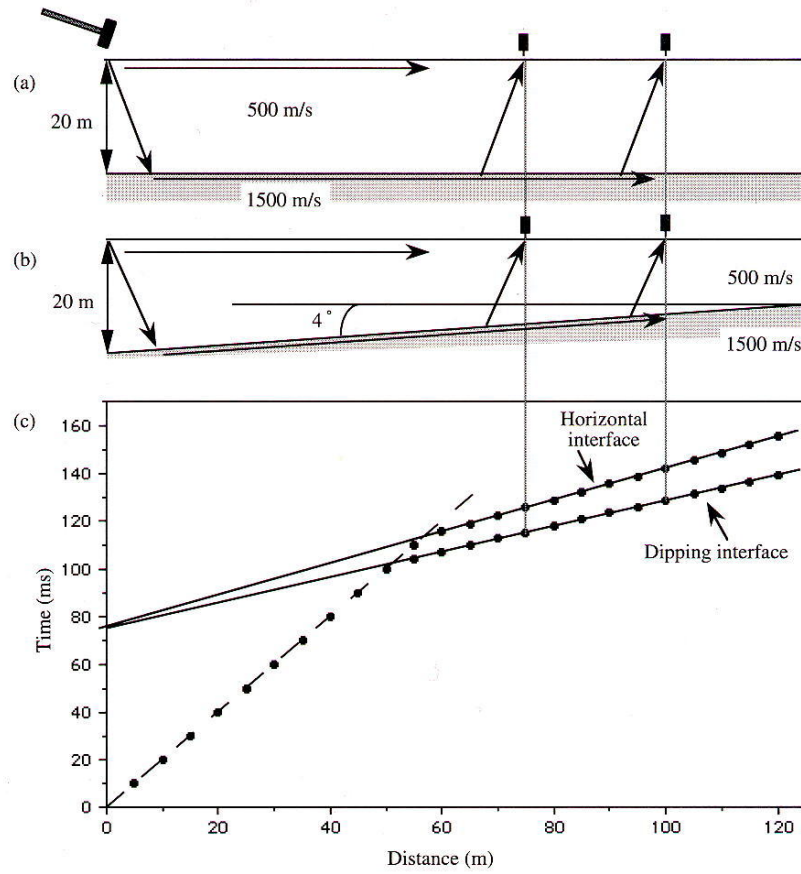


Burger (1992)

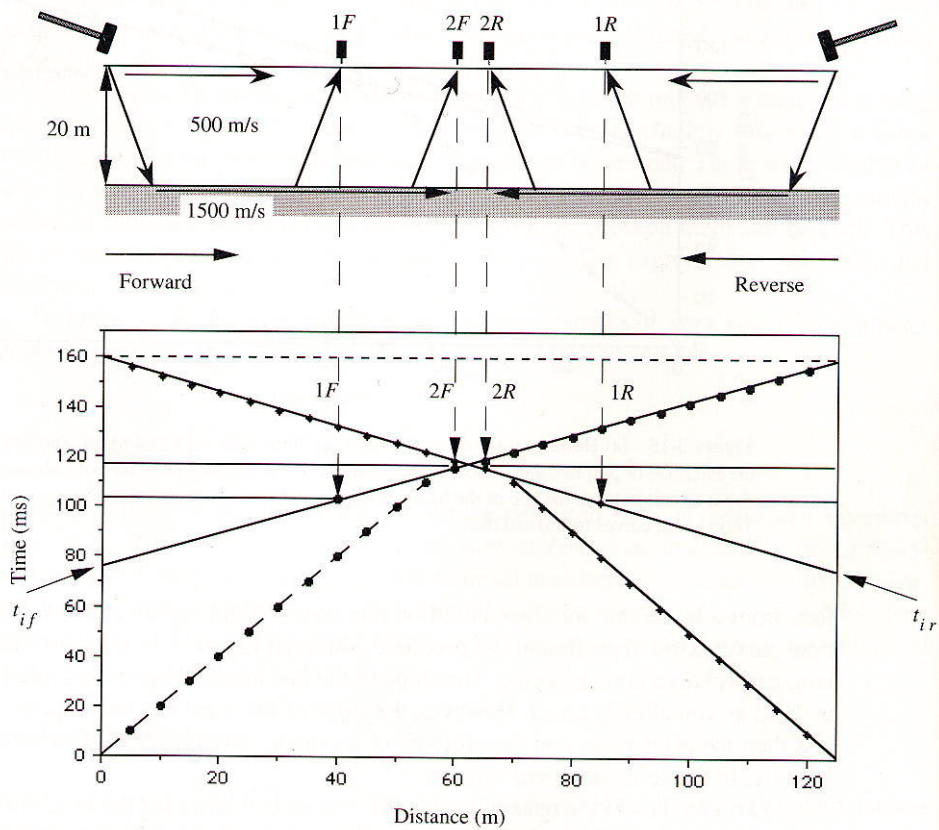
**P - Wellen-Quellen**



Knödel et al. (1997)



Burger (1992)



Burger (1992)

## Interpretation refraktionsseismischer Messungen

### Söhlige Lagerung

$$h = \frac{x_{12}}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

$$h = \frac{t_2}{2 \sqrt{\left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}\right)}}$$

### Geneigte Lagerung

Kritischer Winkel  $i_c$

$$i_c = \frac{1}{2} [\arcsin(v_1/v_{BA}) + \arcsin(v_1/v_{AB})]$$

Neigung der Schicht  $\alpha$

$$\alpha = \frac{1}{2} [\arcsin(v_1/v_{BA}) - \arcsin(v_1/v_{AB})]$$

Schichtmächtigkeit bei A

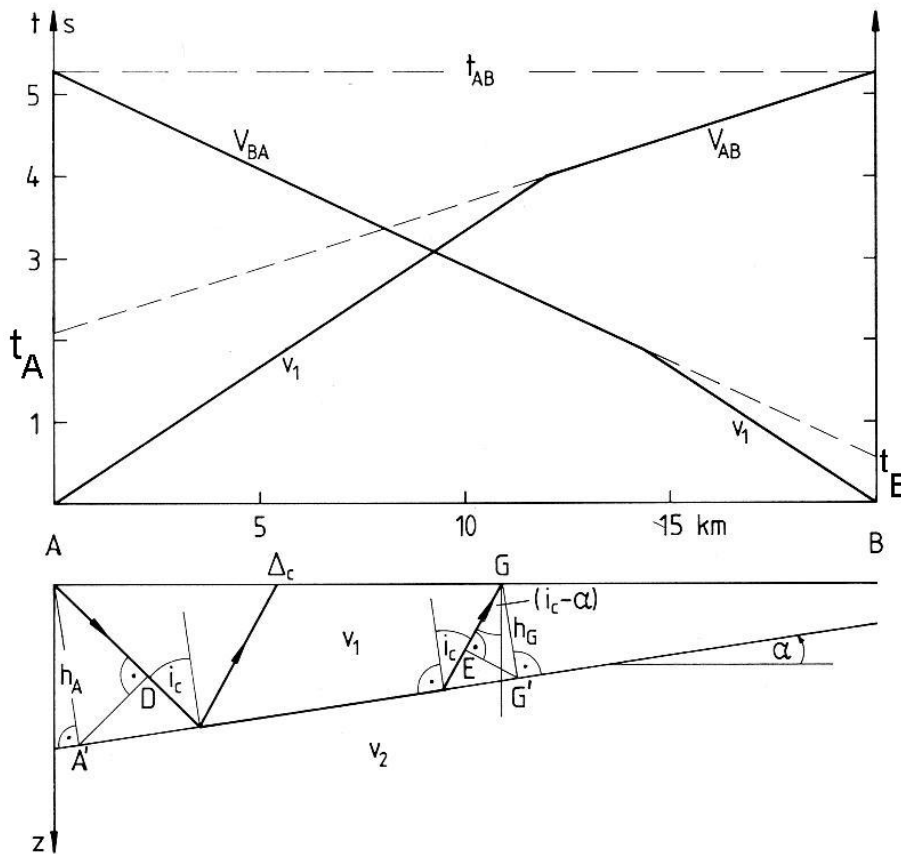
$$h_A = \frac{v_1 t_A}{2 \cos i_c}$$

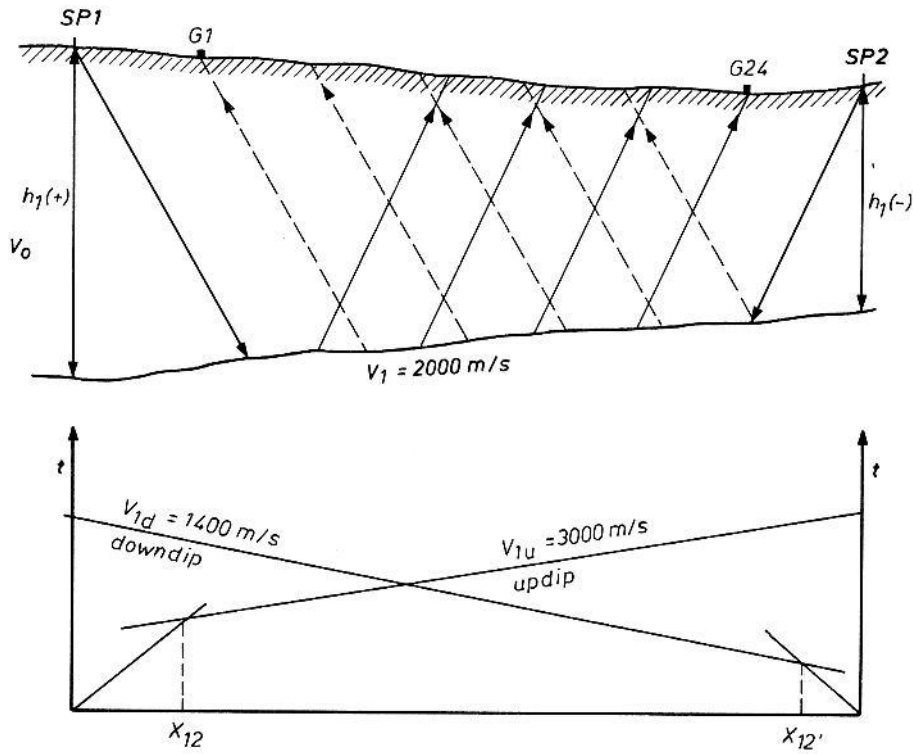
Schichtmächtigkeit bei B

$$h_B = \frac{v_1 t_B}{2 \cos i_c}$$

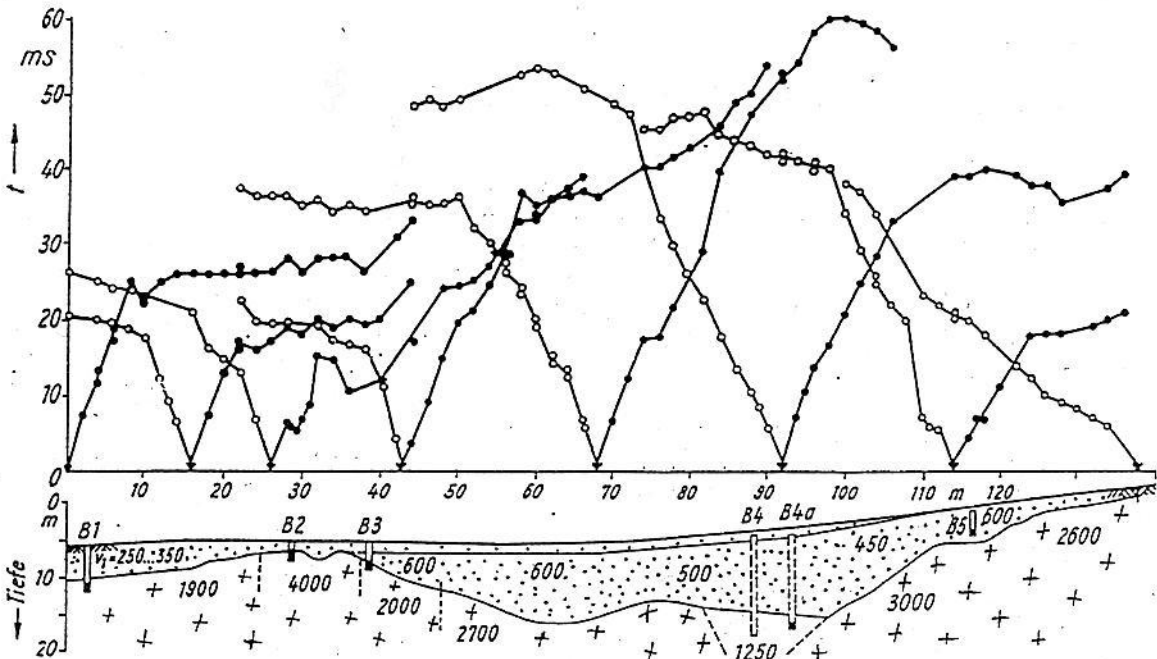
Wahre Geschwindigkeit der zweiten Schicht  $v_2$

$$v_2 = \frac{v_1}{\sin i_c}$$

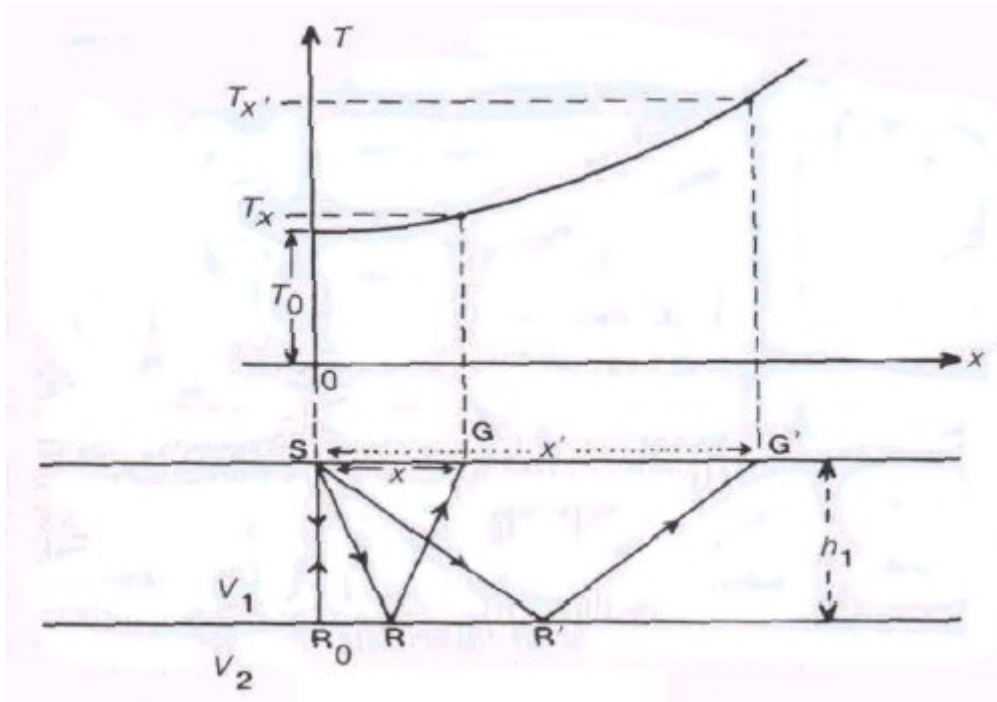




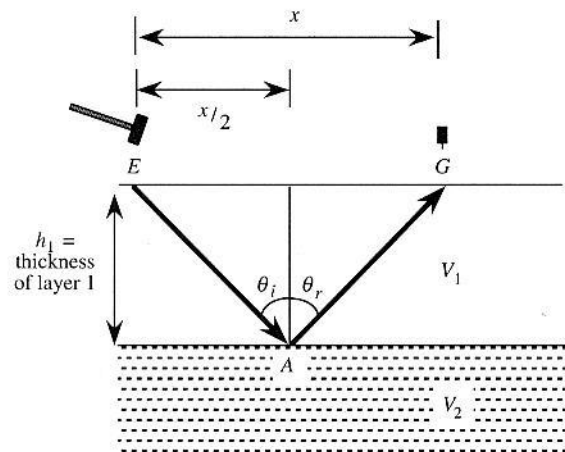
Dohr (1974)

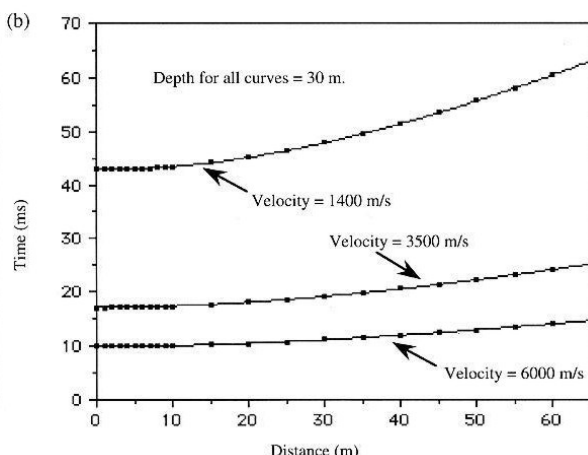
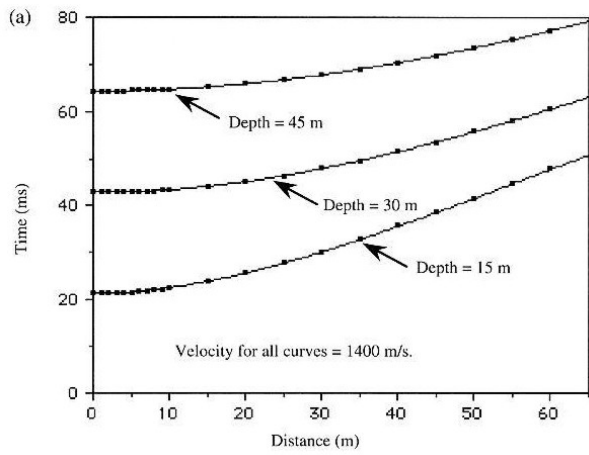




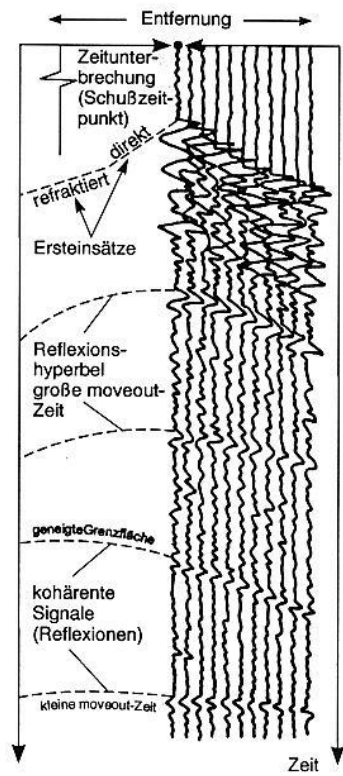
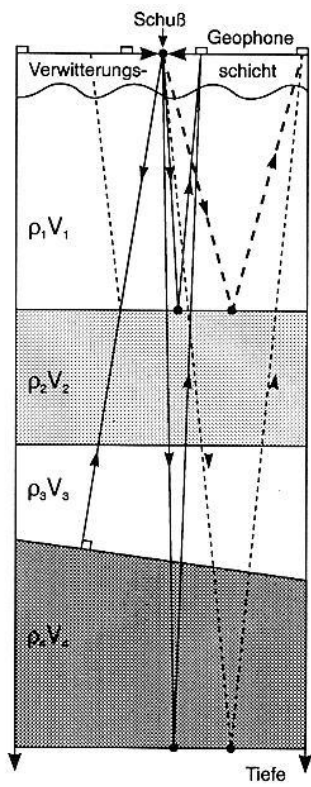


Formel für Reflexionshyperbel

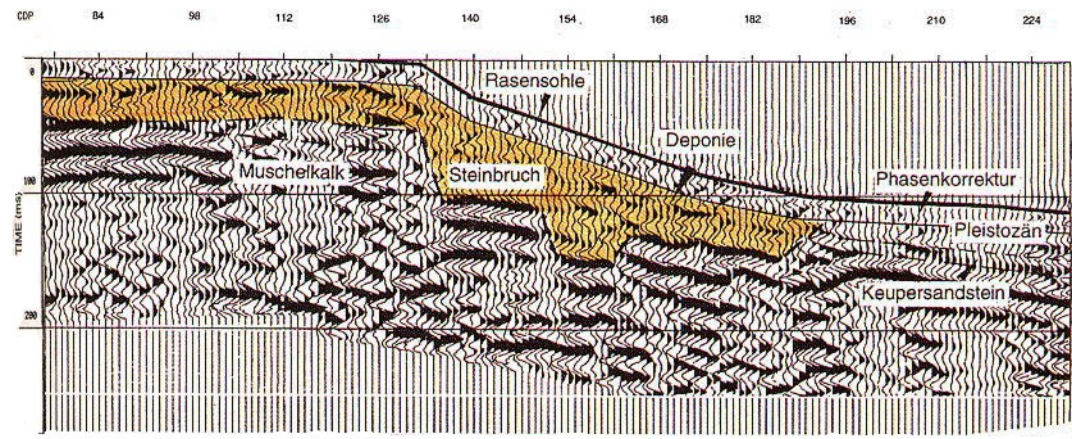




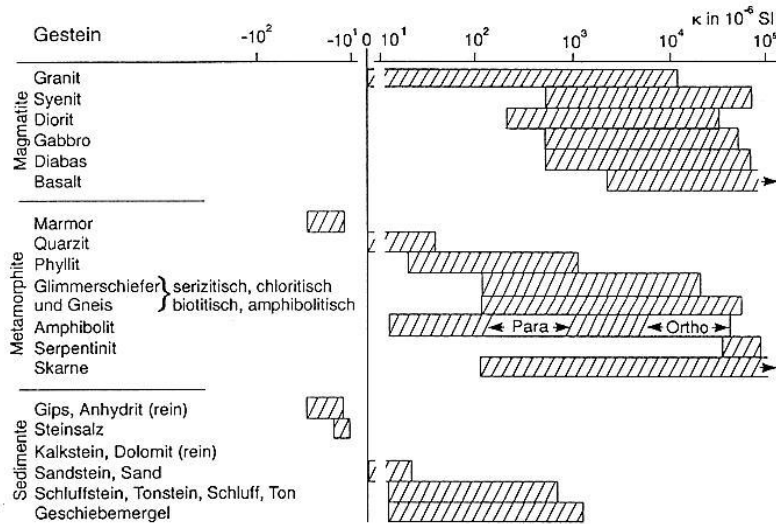
Burger (1992)



Knödel et al. (1997)



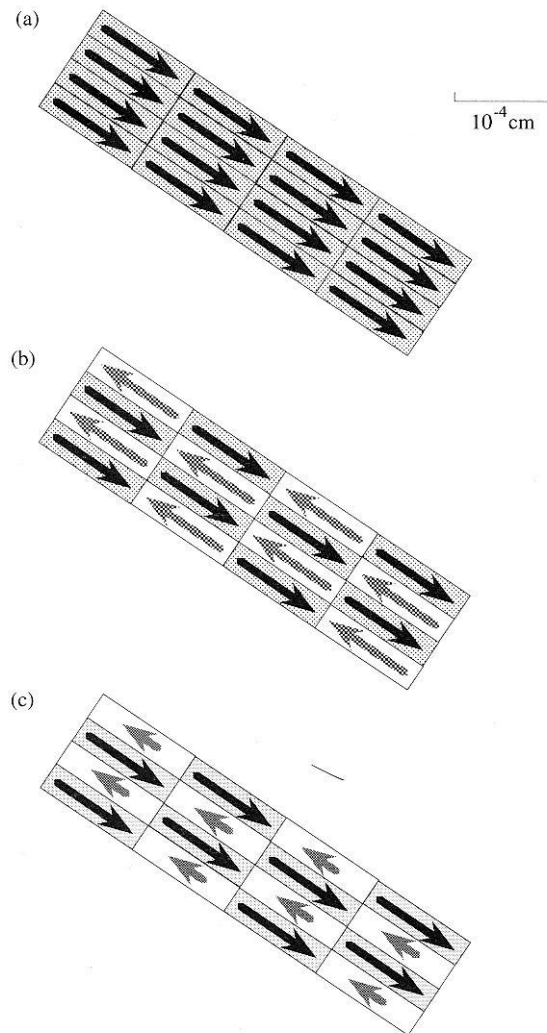
Knödel et al. (1997)



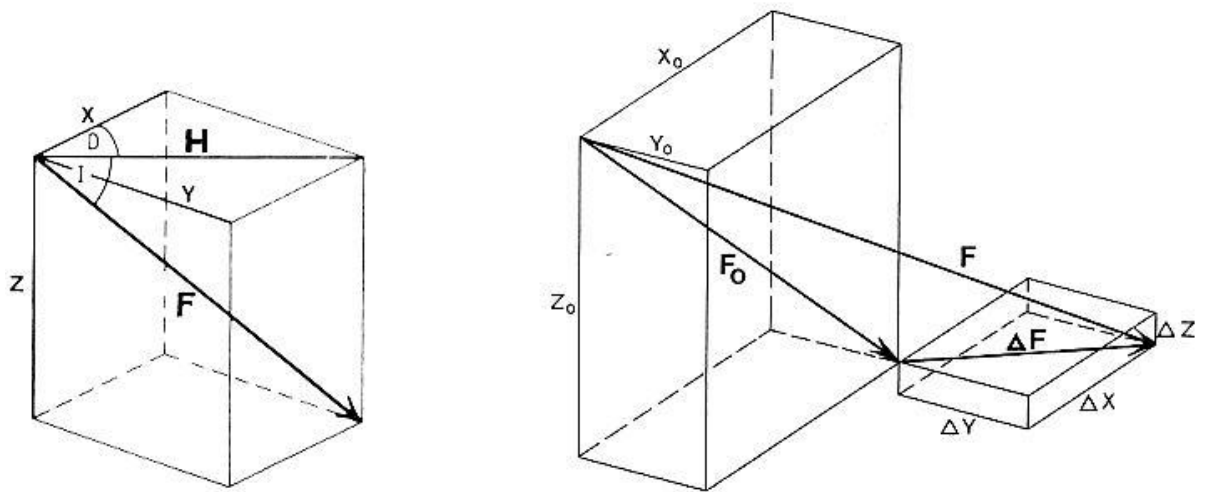
Knödel et al. (1997)

Type	Susceptibility × 10 <sup>3</sup> (SI)	
	Range	Average
<i>Sedimentary</i>		
Dolomite	0–0.9	0.1
Limestones	0–3	0.3
Sandstones	0–20	0.4
Shales	0.01–15	0.6
Av. 48 sedimentary	0–18	0.9
<i>Metamorphic</i>		
Amphibolite		0.7
Schist	0.3–3	1.4
Phyllite		1.5
Gneiss	0.1–25	
Quartzite		4
Serpentine	3–17	
Slate	0–35	6
Av. 61 metamorphic	0–70	4.2
<i>Igneous</i>		
Granite	0–50	2.5
Rhyolite	0.2–35	
Diorite	1–35	17
Augite-syenite	30–40	
Olivine-diabase		25
Diabase	1–160	55
Porphyry	0.3–200	60
Gabbro	1–90	70
Basalts	0.2–175	70
Diorite	0.6–120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90–200	150
Andesite		160
Av. acidic igneous	0–80	8
Av. basic igneous	0.5–97	25
<i>Minerals</i>		
Graphite		0.1
Quartz		–0.01
Rock salt		–0.01
Anhydrite, gypsum		–0.01
Calcite	–0.001 – 0.01	
Coal		0.02
Clays		0.2
Chalcopyrite		0.4
Sphalerite		0.7
Cassiterite		0.9
Siderite	1–4	
Pyrite	0.05–5	1.5
Limonite		2.5
Arsenopyrite		3
Hematite	0.5–35	6.5
Chromite	3–110	7
Franklinite		430
Pyrrhotite	1–6000	1500
Ilmenite	300–3500	1800
Magnetite	1200–19200	6000

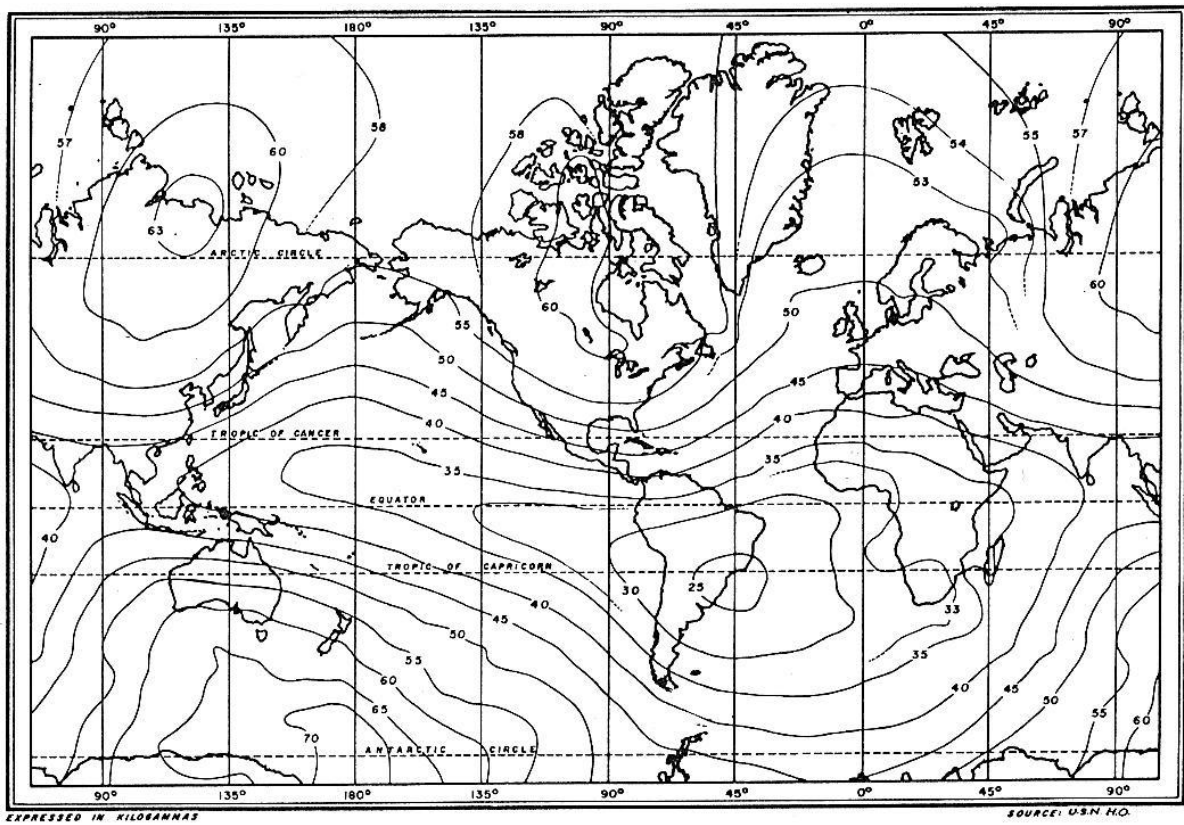
Telford et al. (1990)



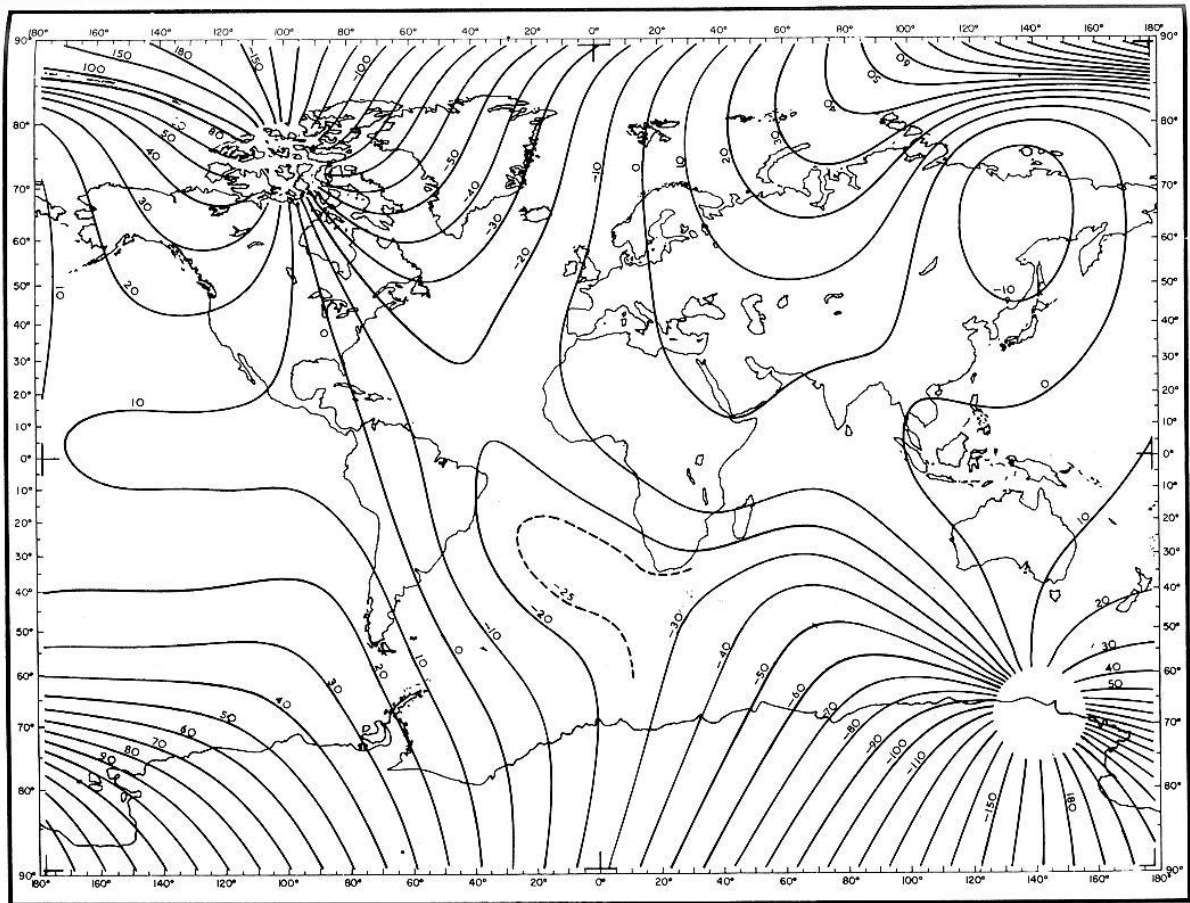
Burger (1992)



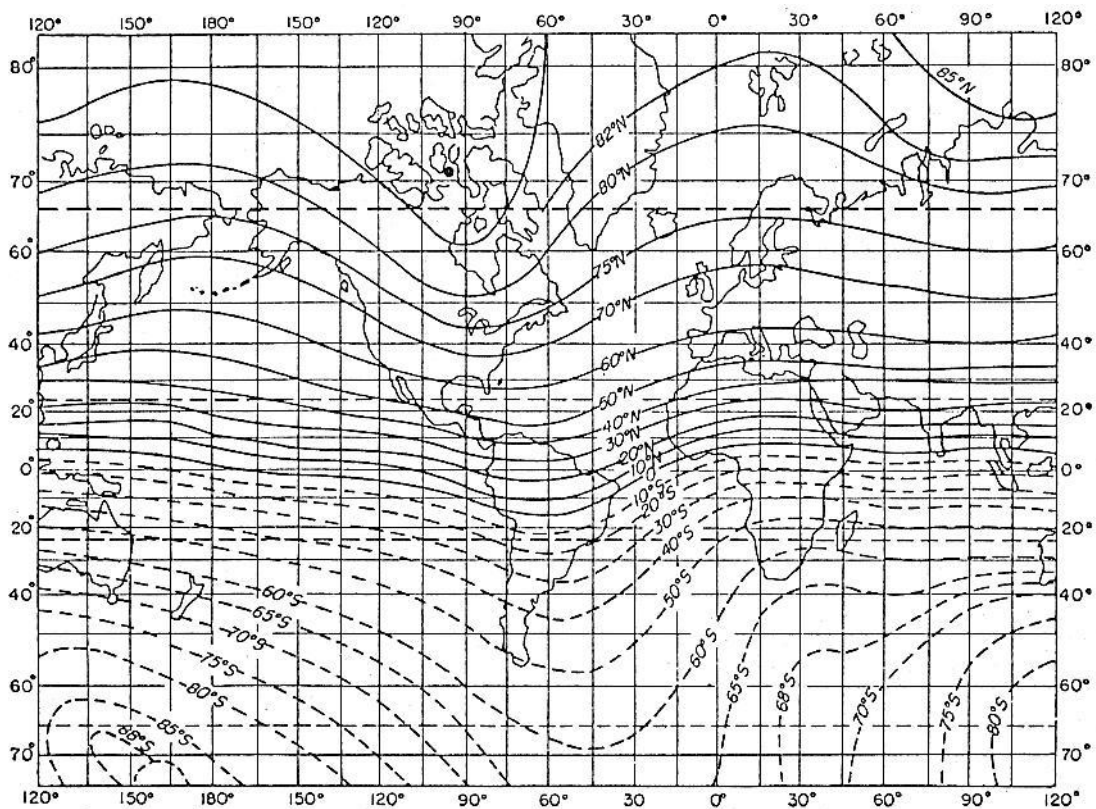
Bender (1985)



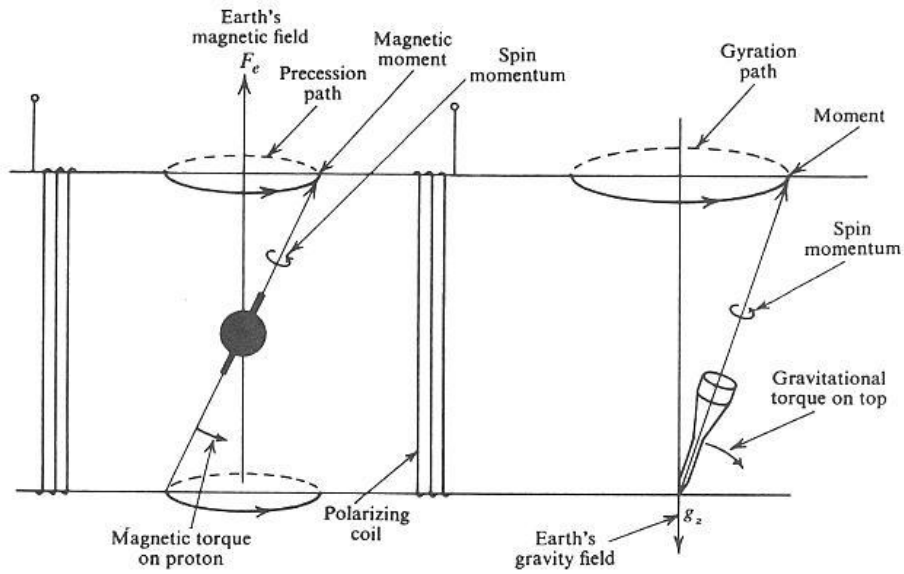
Bender (1985)



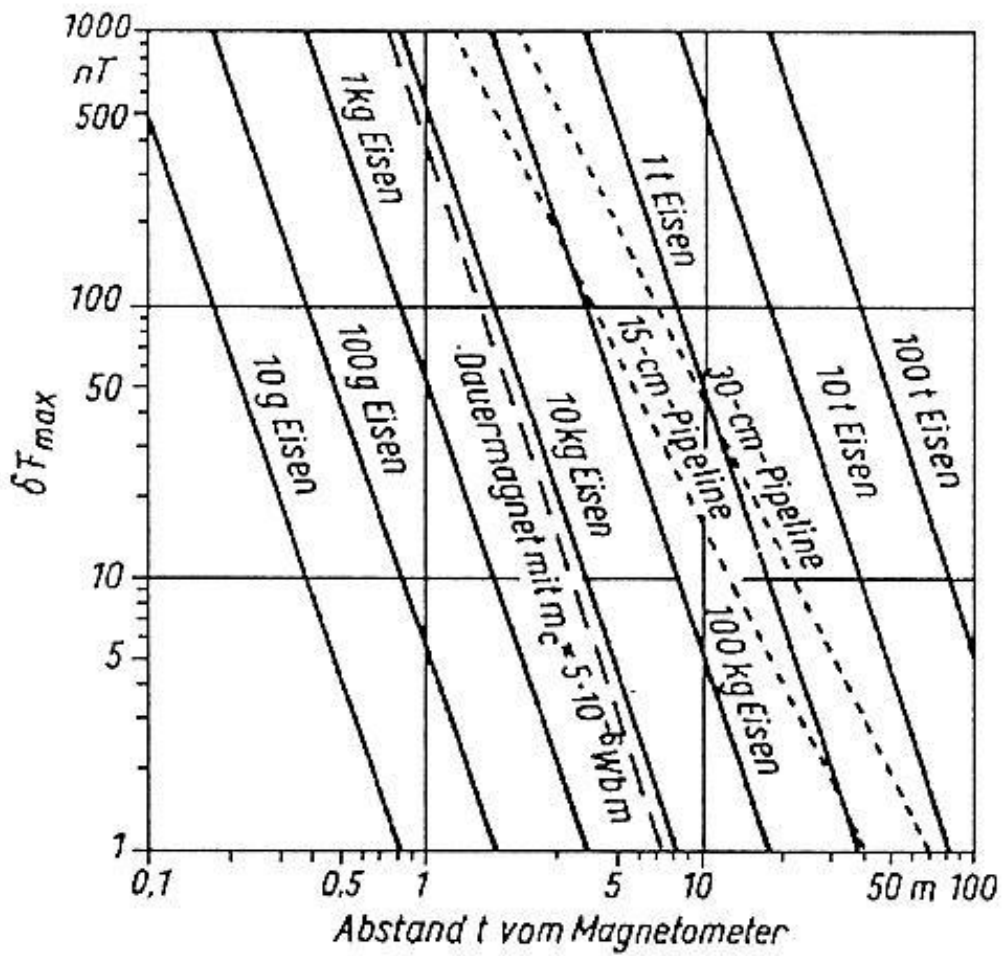
Bender (1985)



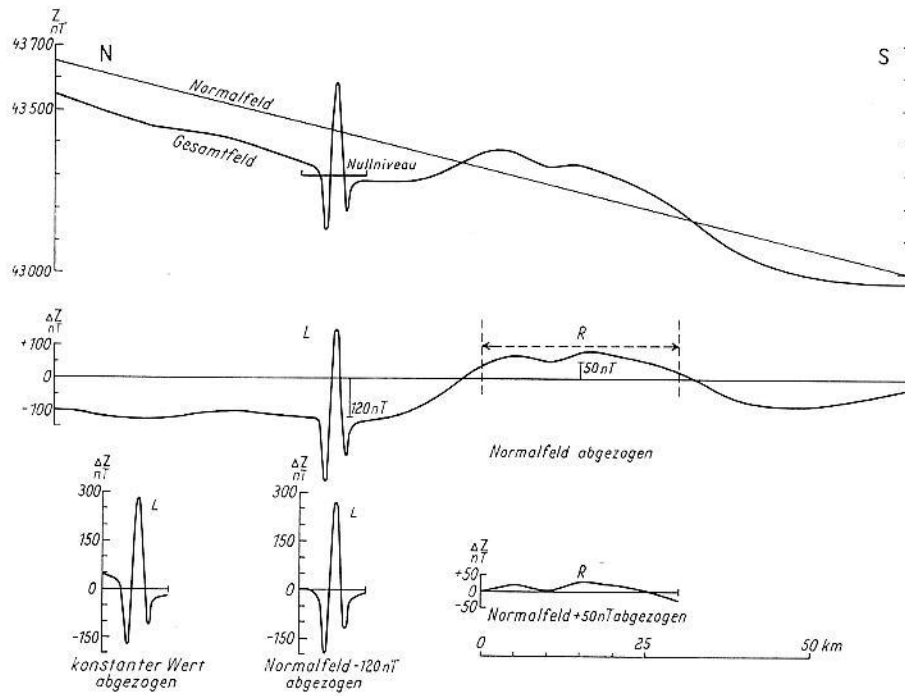
Bender (1985)



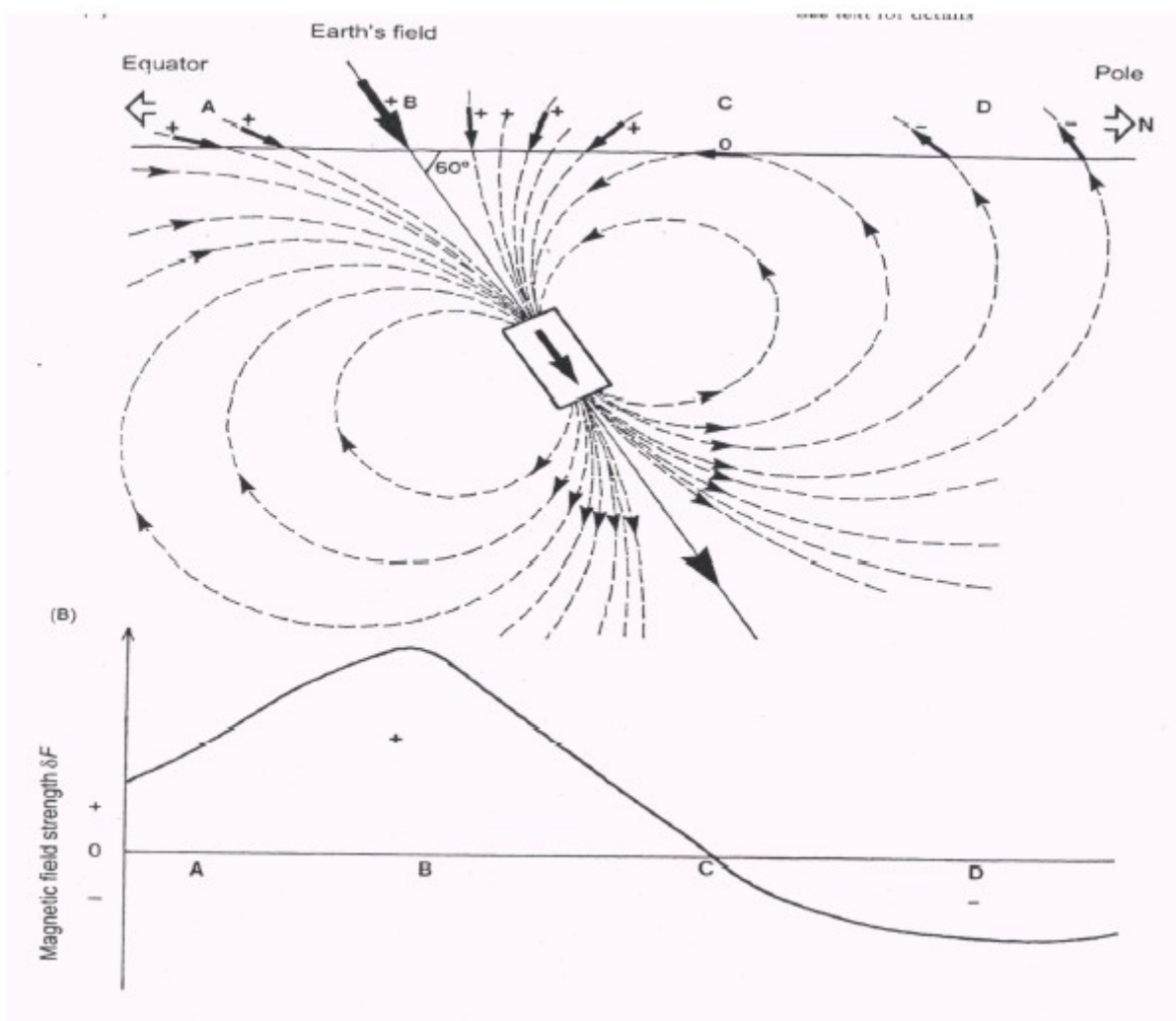
Telford et al. (1990)

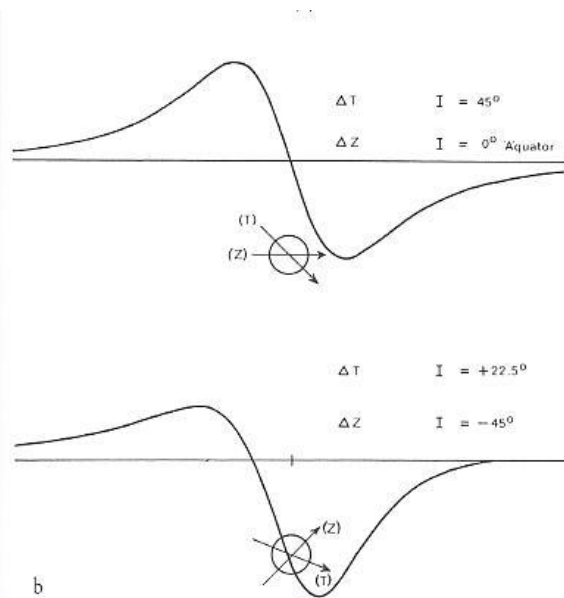


Knödel et al. (1997)

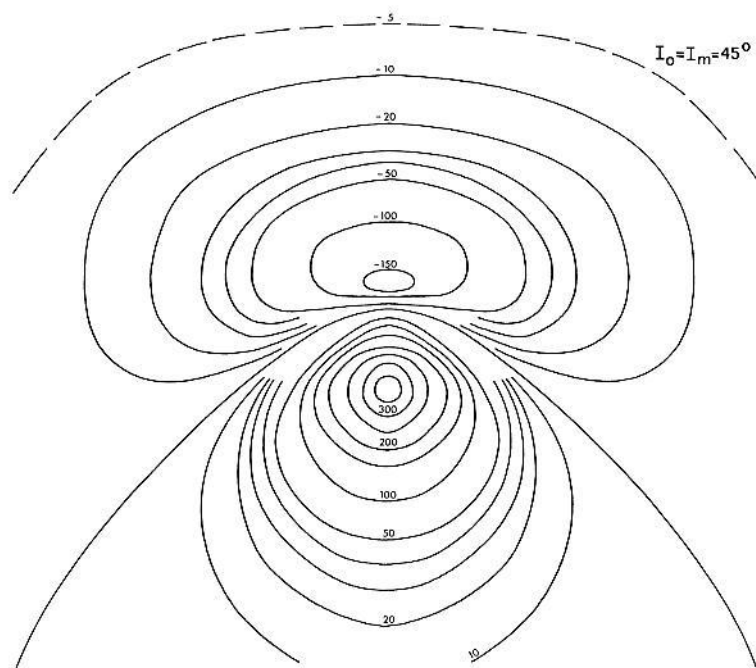


Bender (1985)

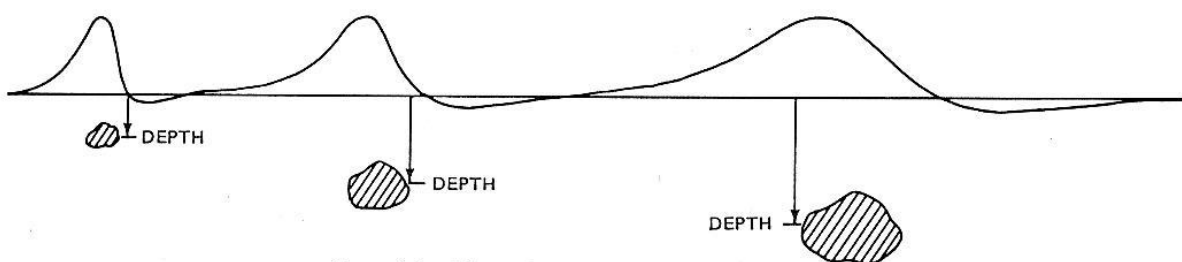




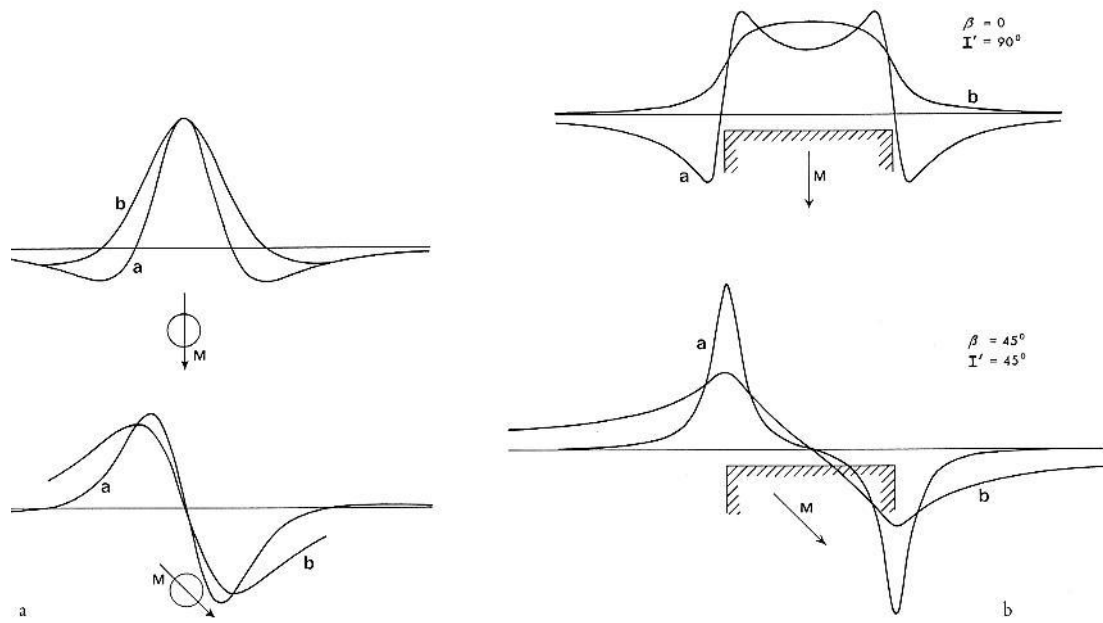
Bender (1985)



Bender (1985)





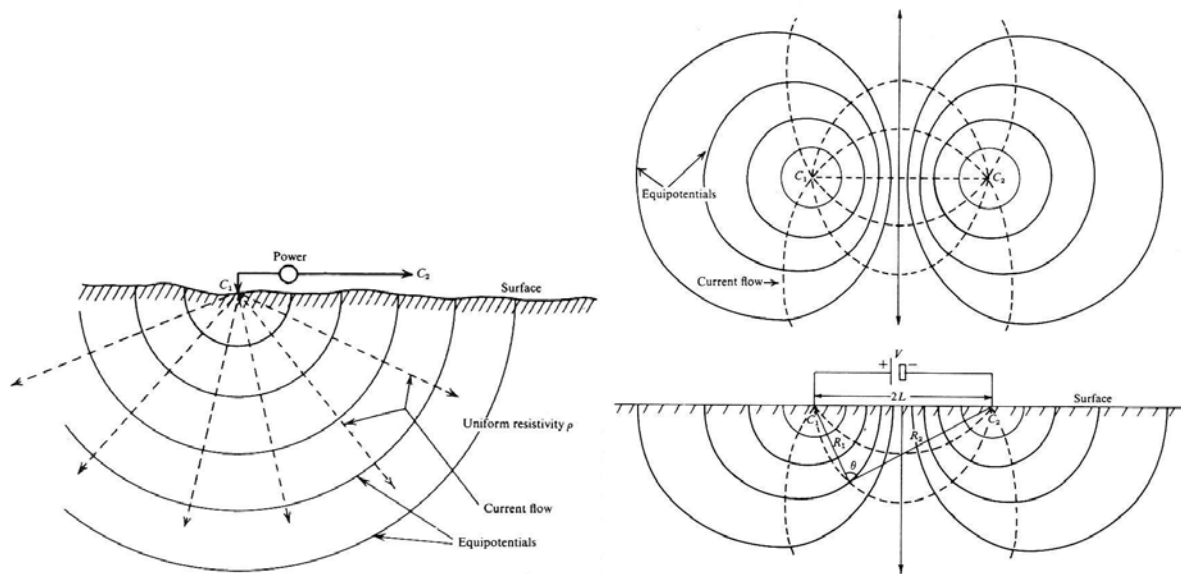


Bender (1985)

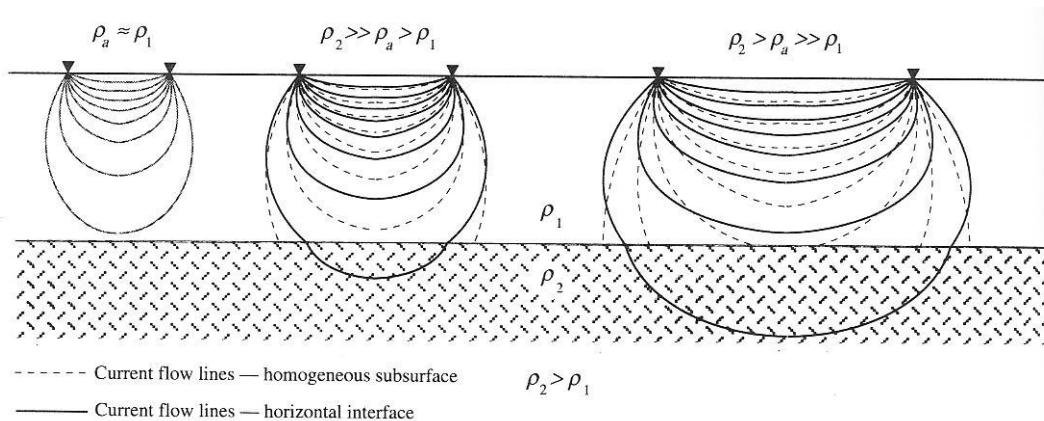
Methode	Frequenz bzw. Zeitbereich	Anregung /Ankoppung	Empfänger / direkte Meßgrößen	Abgeleitete Meßgrößen
Eigenpotential	DC <sup>1</sup>	Natürliche Potentiale	Potentialsonden / Potentialdifferenzen	
Gleichstromgeoelektrik	DC, AC < 50 Hz	Elektroden /galvanisch	Potentialsonden / Potentialdifferenzen und Speisestromstärke	Scheinbarer spezifischer Widerstand
Mise-à-la-masse	DC	Eine der Elektroden auf gutleitender Struktur	Potentialsonden / Potentialdifferenzen Spulen / magnetisches Feld	Scheinbarer spezifischer Widerstand
Induzierte Polarisation (Complex Resistivity)	10 mHz – 10 kHz	Elektroden / galvanisch und induktiv	Potentialsonden / Potentialdifferenzen, Speisestromstärke, Phasenverschiebung zum Speisestrom	Aufladevermögen, Metallfaktor, frequenz-abhängiger komplexer scheinbarer spezifischer Widerstand (Cole - Cole-Parameter)
Elektromagnetik Zweispulensysteme	100 Hz – 60 kHz	Sendespule / induktiv	Induktionsspule (einachsiger Magnetsensor) / magnetische Felder	Normiertes sekundäres Magnetfeld, Scheinleitfähigkeit
CSAMT	1 Hz – 10 kHz	1-2 geerdete elektrische Dipole/galvanisch und induktiv	Dreiachsiger Magnetfeldsensor und Potentialelektroden / magnetische und elektrische Felder	Scheinbarer spezifischer Widerstand, Impedanztensor, Induktionsvektor
VLF, VLF-R, LF, LF-R (RMT) <sup>2</sup>	15 kHz – 1 MHz	Längst- und Mittelwellensender/induktiv	Spulen, Potentialsonden / magnetische und elektrische Felder	Magnetische und elektrische Übertragungsfunktionen, scheinbarer spezifischer Widerstand
TEM Transient-Elektromagnetik	5 µs - 5 ms nach Stromabschaltung	Spule / induktiv	Spule/Abklingkurven der induzierten Spannung	Scheinbarer spezifischer Widerstand
Radiowellen-Schattenmethode	15 kHz – 20 MHz	Antenne / induktiv, kapazitiv	Antenne / elektromagnetische Feldstärke, Phasenverschiebung	Normierte elektromagnetische Dämpfung, normierte Phasenverschiebung
Georadar	20 MHz - 1 GHz Impuls	Antenne / kapazitiv	Antenne / elektrische Feldstärke	Leitfähigkeit, dielektrische Konstante, Ausbreitungsgeschwindigkeit

<sup>1</sup> DC Abkürzung des englischen Begriffes Direct Current - Gleichstrom, AC Abkürzung von Alternating Current - Wechselstrom  
<sup>2</sup> RMT Abkürzung für Radio-Magnetotellurik

Knödel et al. (1997)



Knödel et al. (1997)

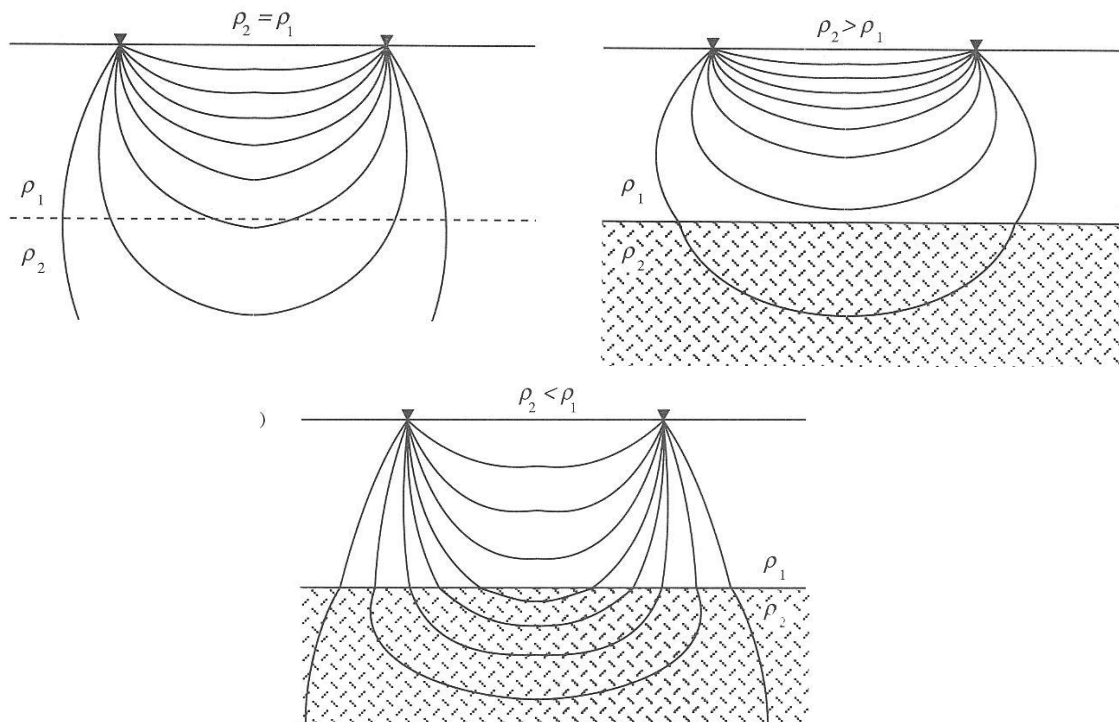


Knödel et al. (1997)

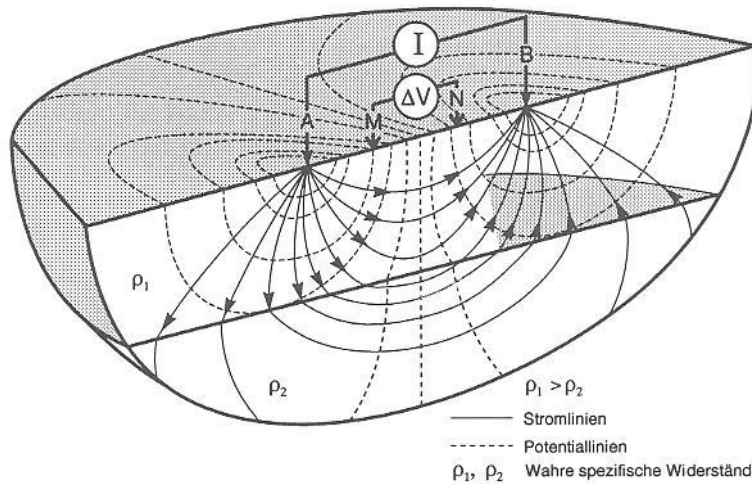
Rock type	Resistivity range ( $\Omega\text{m}$ )
Granite porphyry	$4.5 \times 10^3$ (wet) – $1.3 \times 10^6$ (dry)
Feldspar porphyry	$4 \times 10^3$ (wet)
Syenite	$10^2 - 10^6$
Diorite porphyry	$1.9 \times 10^3$ (wet) – $2.8 \times 10^4$ (dry)
Porphyrite	$10 - 5 \times 10^4$ (wet) – $3.3 \times 10^3$ (dry)
Carbonatized porphyry	$2.5 \times 10^3$ (wet) – $6 \times 10^4$ (dry)
Quartz diorite	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (wet) – $1.8 \times 10^5$ (dry)
Porphyry (various)	$60 - 10^4$
Dacite	$2 \times 10^4$ (wet)
Andesite	$4.5 \times 10^4$ (wet) – $1.7 \times 10^2$ (dry)
Diabase (various)	$20 - 5 \times 10^7$
Lavas	$10^2 - 5 \times 10^4$
Gabbro	$10^3 - 10^6$
Basalt	$10 - 1.3 \times 10^7$ (dry)
Olivine norite	$10^3 - 6 \times 10^4$ (wet)
Peridotite	$3 \times 10^3$ (wet) – $6.5 \times 10^3$ (dry)
Hornfels	$8 \times 10^3$ (wet) – $6 \times 10^7$ (dry)
Schists (calcareous and mica)	$20 - 10^4$
Tuffs	$2 \times 10^3$ (wet) – $10^5$ (dry)
Graphite schist	$10 - 10^2$
Slates (various)	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Gneiss (various)	$6.8 \times 10^4$ (wet) – $3 \times 10^6$ (dry)
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$ (dry)
Skarn	$2.5 \times 10^2$ (wet) – $2.5 \times 10^8$ (dry)
Quartzites (various)	$10 - 2 \times 10^8$
Consolidated shales	$20 - 2 \times 10^3$
Argillites	$10 - 8 \times 10^2$
Conglomerates	$2 \times 10^3 - 10^4$
Sandstones	$1 - 6.4 \times 10^8$
Limestones	$50 - 10^7$
Dolomite	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Unconsolidated wet clay	20
Marls	3 - 70
Clays	1 - 100
Oil sands	4 - 800

Gestein	Spez. Widerstand [ $\Omega\text{ m}$ ]
Tone, Mergel	3 ... 30
Sandige Tone	8 ... 40
Tonige Sande	20 ... 100
Sande, Kiese	100 ... 2000
Kalkstein, Gips	100 ... 2000
Sandstein	100 ... 5000
Magmatische Gesteine	300 ... $10^5$

Bender (1985)



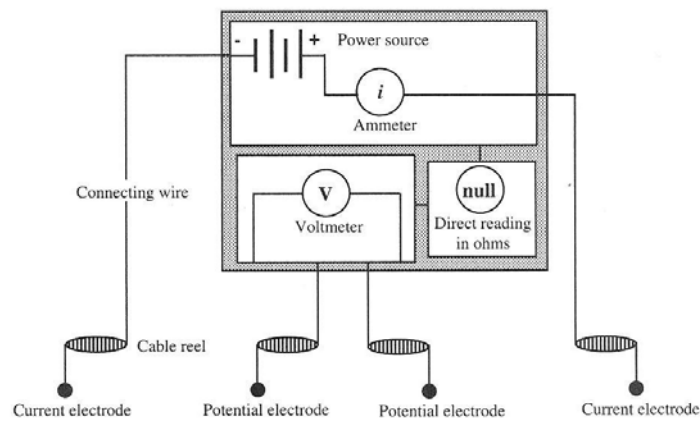
Knödel et al. (1997)



Knödel et al. (1997)

Verfahren	Elektrodenkonfiguration	Konfigurationsfaktor (n: Abstandsfaktor)
<b>Wenner</b> Wenner $\alpha$ Lee (Mit zusätzlicher zentraler Sonde O)		$K = 2\pi a$
<b>Schlumberger</b>		$K = \pi n(n+1)a$ $n > 3$
<b>Dipol-Dipol</b> axialer Dipol Doppeldipol Wenner $\beta$		$K = \pi n(n+1)(n+2)a$
<b>Pol-Dipol</b> Dreipol Halb-Schlumberger Hummel		$K = 2\pi n(n+1)a$ $n > 3$
<b>Pol-Pol</b> Zweipol		$K = 2\pi a$

Knödel et al. (1997)

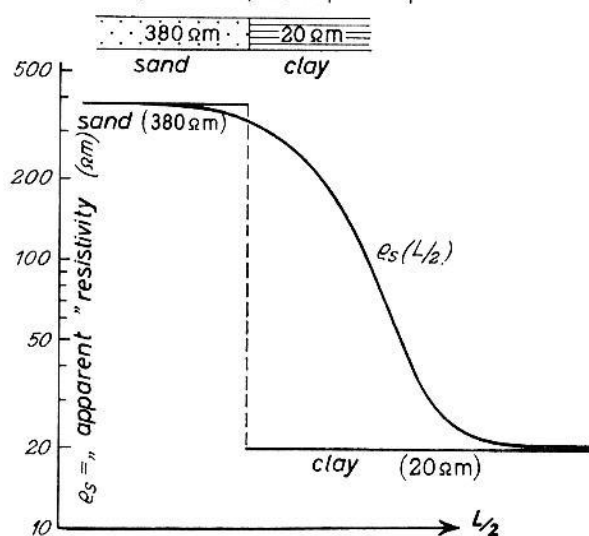
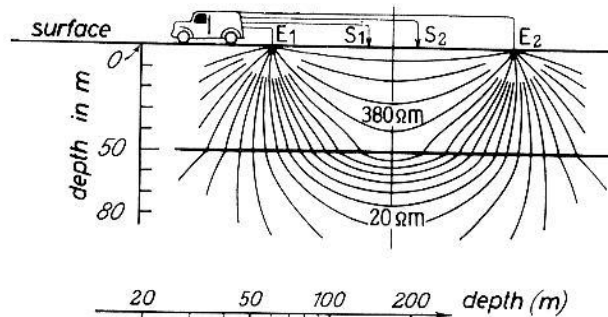


Knödel et al. (1997)

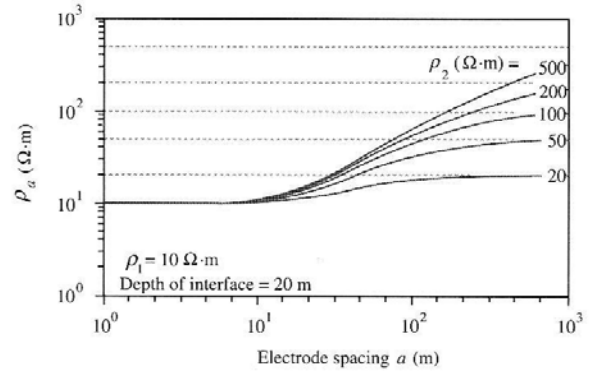
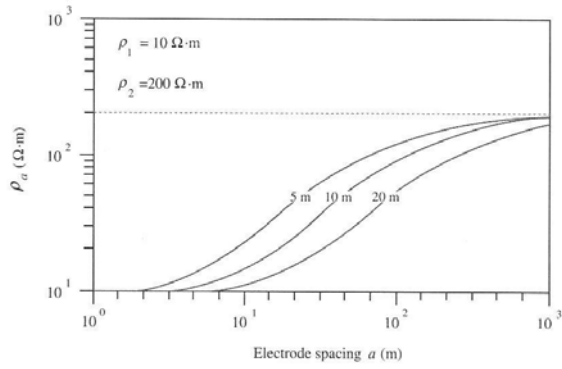
Konfiguration	Wenner	Schlumberger	Dipol-Dipol	Pol-Dipol	Gradient
Nutz-/Störsignal	1	2	5	4	3
Laterale Auflösung	5	4	2	3	1
Schichtauflösung	1	1	2	2	5
Vertikale Störkörperauflösung	1	1	2	3	5
Einfluß der Neigung von Einlagerungen	2	2	4	5	1
Einfluß oberflächennaher Inhomogenitäten					
a: Bei Kartierung	3	3	2	1	5
b: Bei Sondierung	2	1	4	3	-
Einfluß des Reliefs im Untergrund	3	3	1	2	5
Erkundungstiefe für horizontalgeschichteten Untergrund, bezogen auf Abstände in Tab. 5.5					
a:	0,11 $\overline{AB}$	0,125 $\overline{AB}$	0,195 $\overline{AN}$	0,13 $\overline{AB}$	-
b:	0,17 $\overline{AB}$	0,19 $\overline{AB}$	0,25 $\overline{AN}$	0,19 $\overline{AB}$	-

1 : Relativ beste      5 : Relativ schlechteste Bewertung      - : Keine Angaben

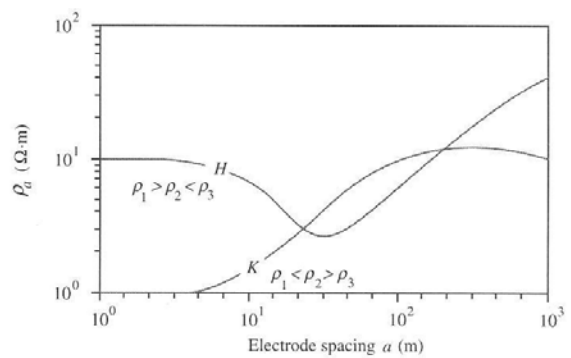
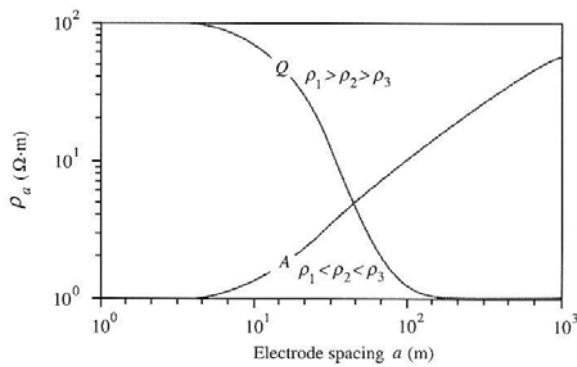
Knödel et al. (1997)



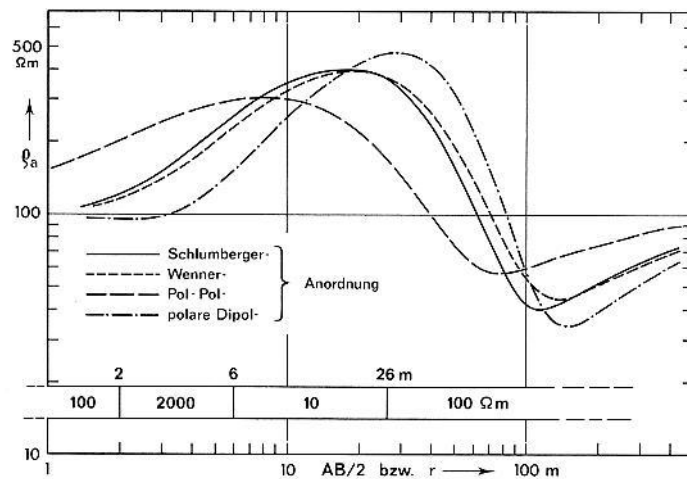
Dohr (1974)



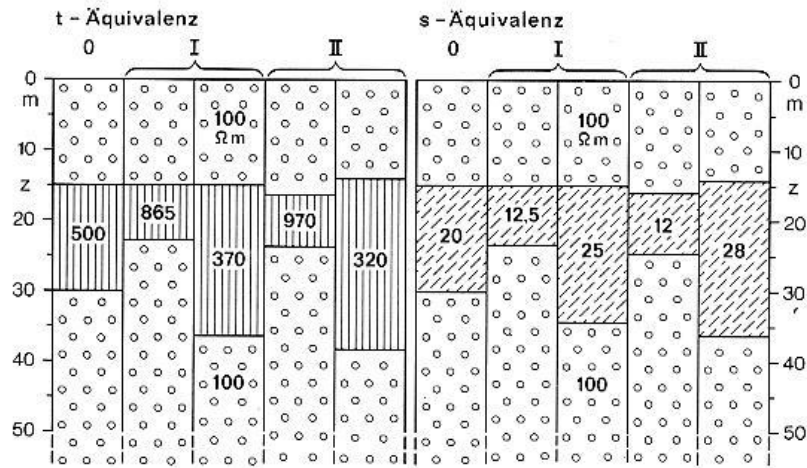
Burger (1992)



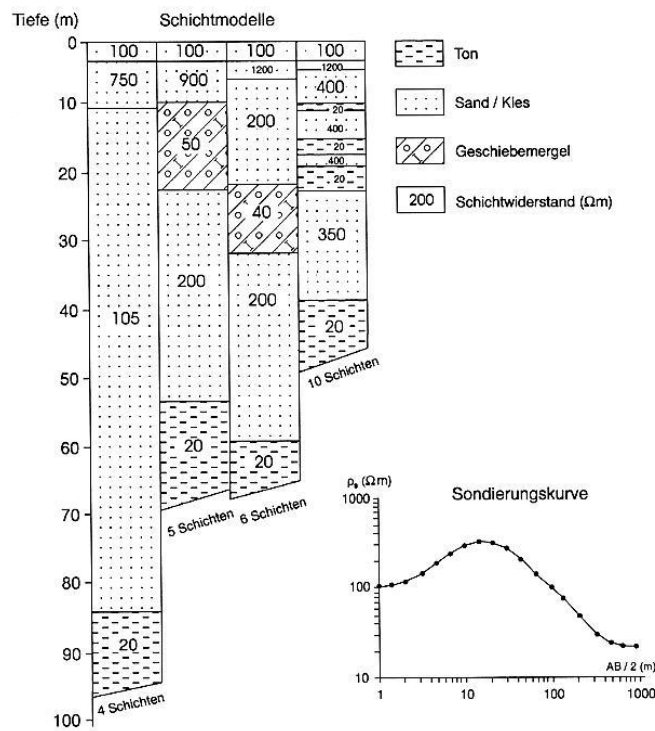
Burger (1992)



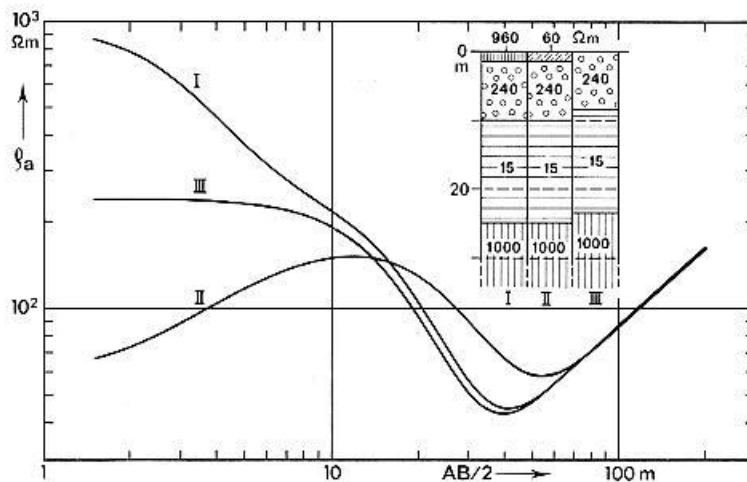
Bender (1985)



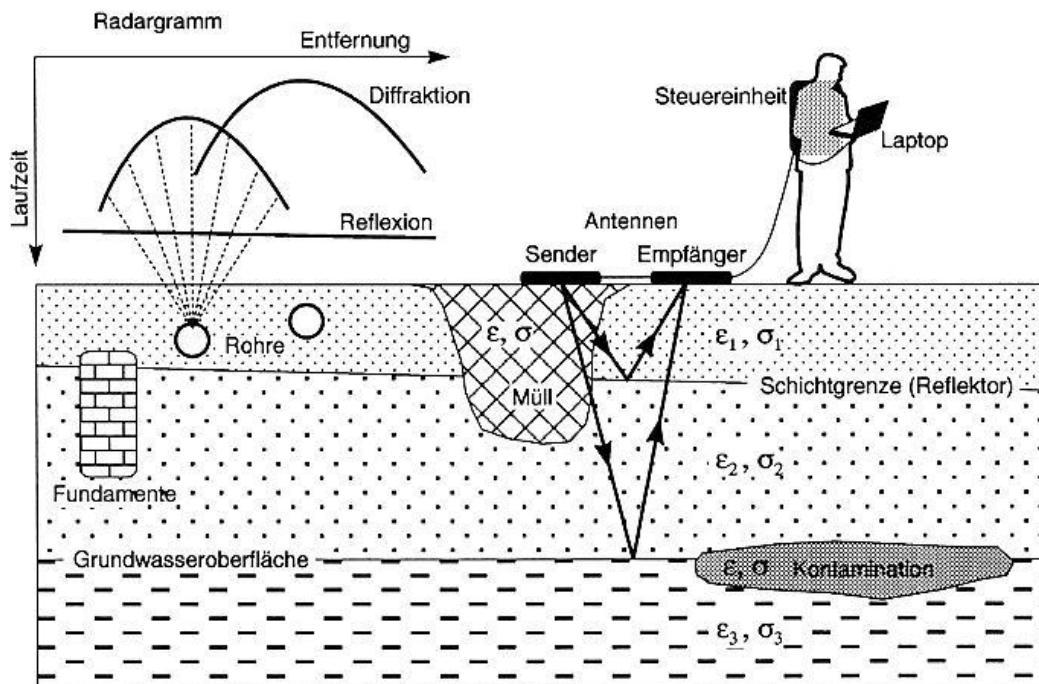
Bender (1985)



Knödel et al. (1997)



Bender (1985)

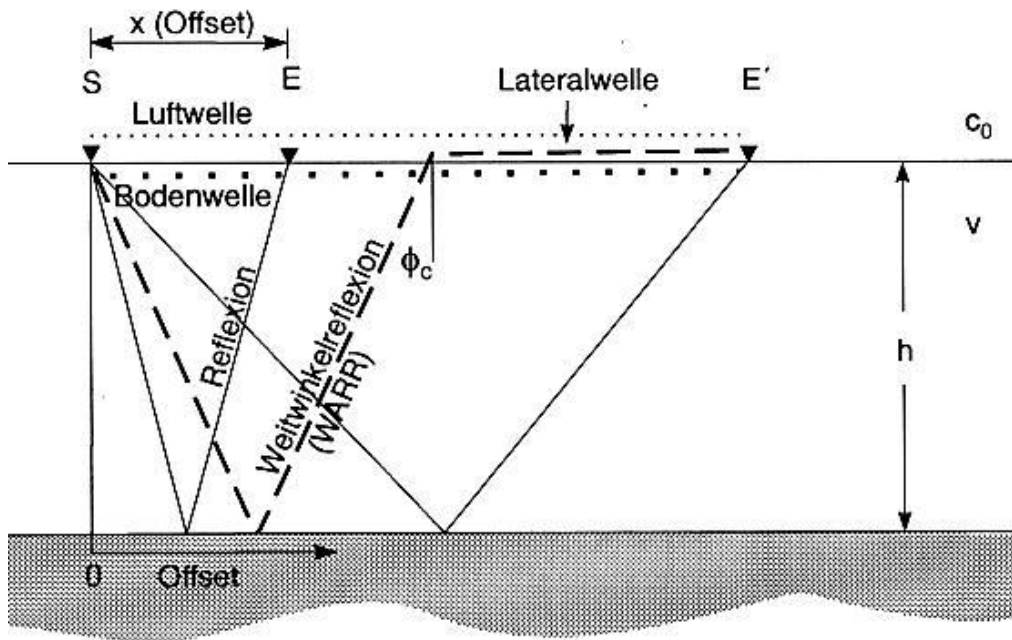


Knödel et al. (1997)

Material	$\epsilon'_r$ Dimensionslos	$\sigma$ (mS m <sup>-1</sup> )	$v$ (m ns <sup>-1</sup> )	$\alpha'$ (dB m <sup>-1</sup> )
Luft	1	0	0,2998	0
Aqua dest.	80	0,01	0,033	0,002
Süßwasser	80	0,5	0,033	0,1
Meerwasser	80	30 000	0,01	1 000
trockener Sand	3 - 5	0,01	0,15	0,01
gesättigter Sand	20 - 30	0,1 - 1	0,06	0,03 - 0,3
Schluff	5 - 30	1 - 100	0,07	1 - 100
Ton	5 - 40	2 - 1 000	0,06	1 - 300
Kalkstein	4 - 8	0,5 - 2	0,12	0,4 - 1
Schiefer	5 - 15	1 - 100	0,09	1 - 100
Granit	6	0,01 - 1	0,12	0,01 - 1
trockenes Salz	≈ 6	0,001 - 0,1	0,125	0,01 - 1
Eis	3,18	0,01	0,168	0,02
Öl, Asphalt	2 - 3	0,01	0,19	0,01

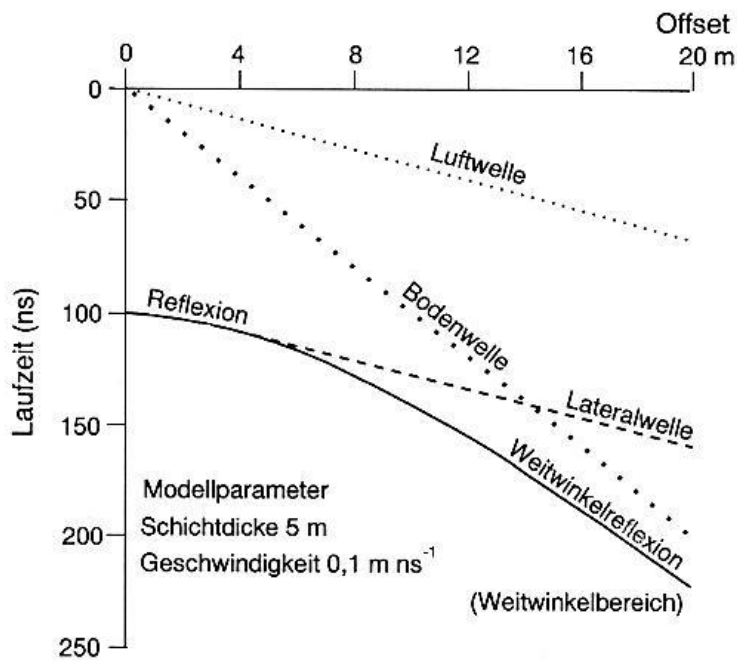
Knödel et al. (1997)



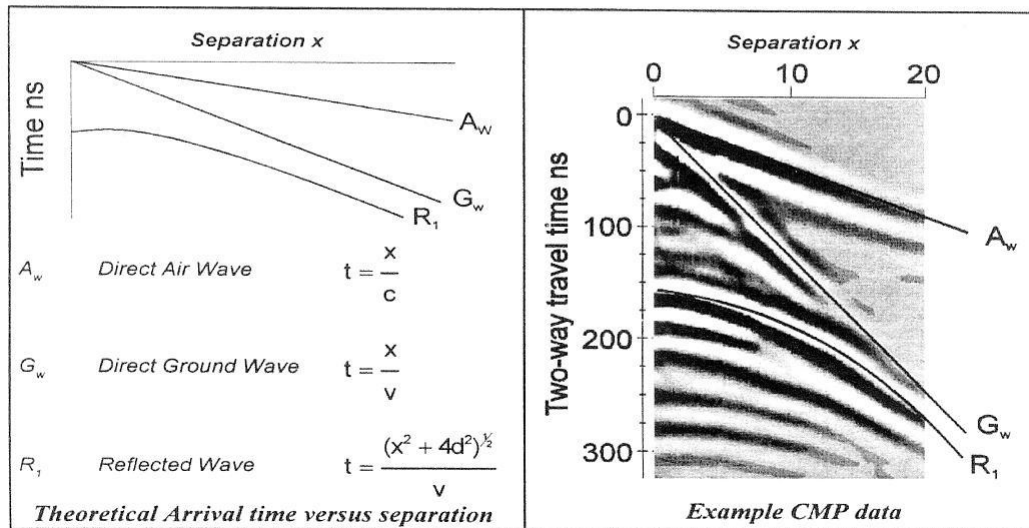
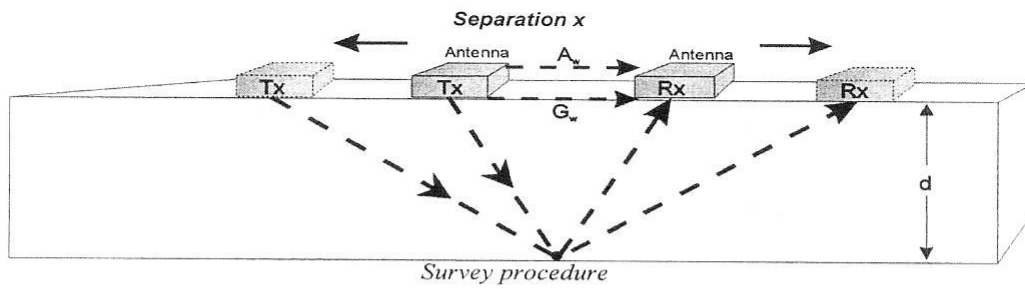


S Sender  
E, E' Empfänger

Knödel et al. (1997)



Knödel et al. (1997)



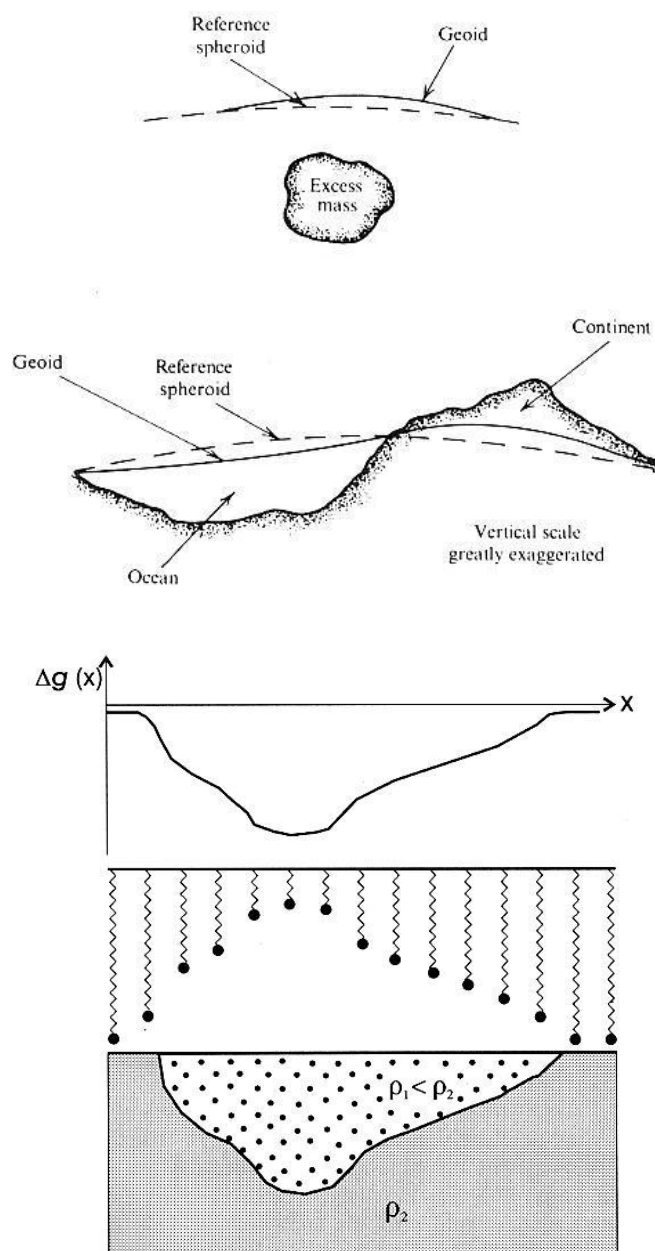
Knödel et al. (1997)

Kombination von Gravitationsgesetz und Zweitem Newtonschen Axiom

$$F = m \cdot g = m \cdot \frac{G \cdot M}{R^2}$$

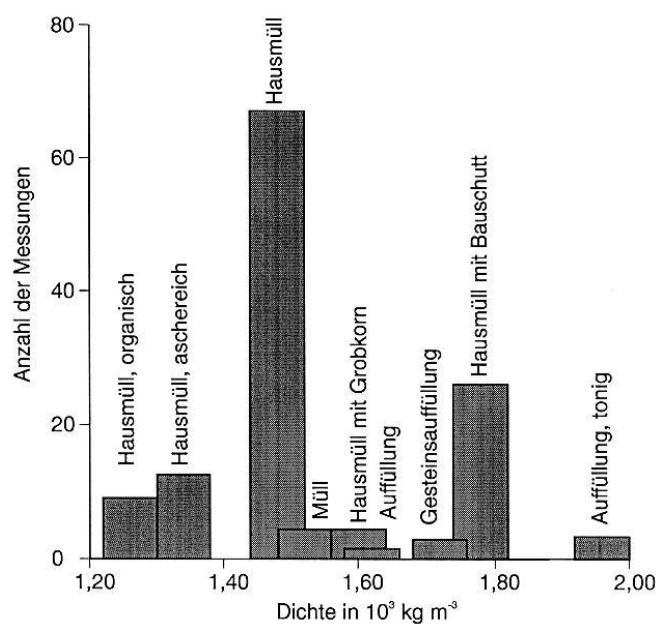
Normalschwere in Abhängigkeit von der geographischen Breite

$$g_{\text{normal}} = 978,03185 \cdot (1 + 0,005278895 \sin^2 \varphi - 0,000023462 \sin^4 \varphi)$$

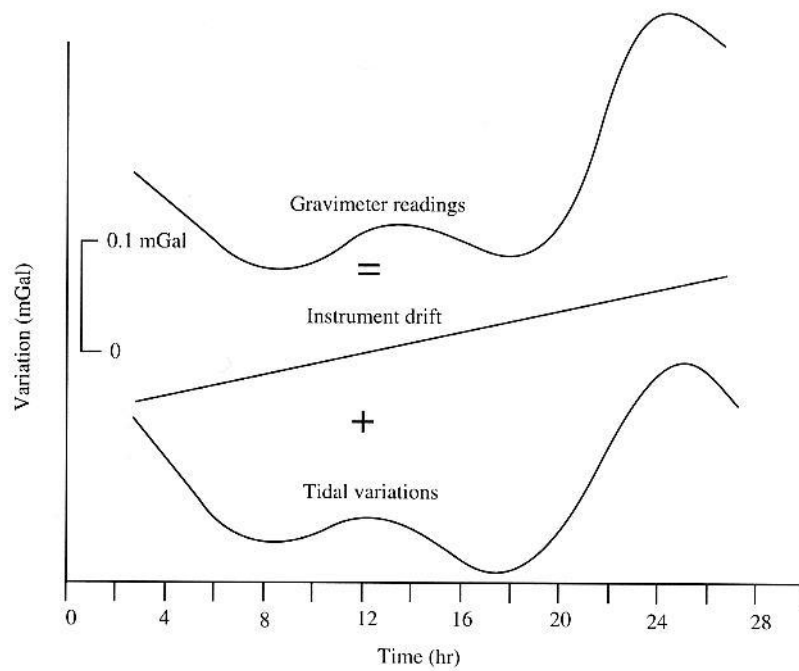
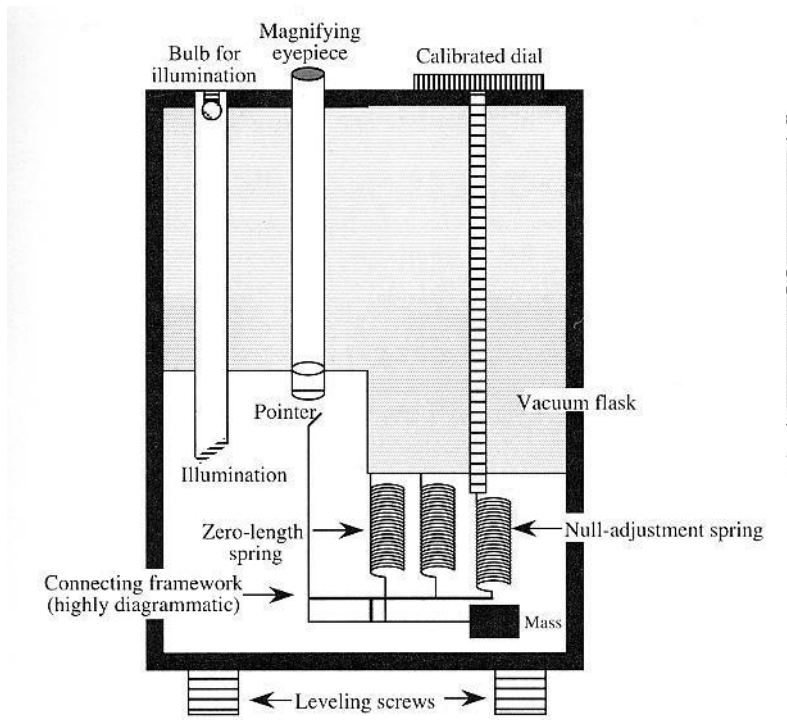


Knödel et al. (1997)

Rock type	Range (g/cm <sup>3</sup> )	Average (g/cm <sup>3</sup> )	Mineral	Range (g/cm <sup>3</sup> )	Average (g/cm <sup>3</sup> )
Sediments (wet)			Metallic minerals		
Overburden		1.92	Oxides, carbonates		
Soil	1.2 – 2.4	1.92	Bauxite	2.3 – 2.55	2.45
Clay	1.63 – 2.6	2.21	Limonite	3.5 – 4.0	3.78
Gravel	1.7 – 2.4	2.0	Siderite	3.7 – 3.9	3.83
Sand	1.7 – 2.3	2.0	Rutile	4.18 – 4.3	4.25
Sandstone	1.61 – 2.76	2.35	Manganite	4.2 – 4.4	4.32
Shale	1.77 – 3.2	2.40	Chromite	4.3 – 4.6	4.36
Limestone	1.93 – 2.90	2.55	Ilmenite	4.3 – 5.0	4.67
Dolomite	2.28 – 2.90	2.70	Pyrolusite	4.7 – 5.0	4.82
Sedimentary rocks (av.)		2.50	Magnetite	4.9 – 5.2	5.12
Igneous rocks			Franklinite	5.0 – 5.22	5.12
Rhyolite	2.35 – 2.70	2.52	Hematite	4.9 – 5.3	5.18
Andesite	2.4 – 2.8	2.61	Cuprite	5.7 – 6.15	5.92
Granite	2.50 – 2.81	2.64	Cassiterite	6.8 – 7.1	6.92
Granodiorite	2.67 – 2.79	2.73	Wolframite	7.1 – 7.5	7.32
Porphyry	2.60 – 2.89	2.74	Sulfides, arsenides		
Quartz diorite	2.62 – 2.96	2.79	Sphalerite	3.5 – 4.0	3.75
Diorite	2.72 – 2.99	2.85	Malachite	3.9 – 4.03	4.0
Lavas	2.80 – 3.00	2.90	Chalcocite	4.1 – 4.3	4.2
Diabase	2.50 – 3.20	2.91	Stannite	4.3 – 4.52	4.4
Basalt	2.70 – 3.30	2.99	Stibnite	4.5 – 4.6	4.6
Gabbro	2.70 – 3.50	3.03	Pyrrhotite	4.5 – 4.8	4.65
Peridotite	2.78 – 3.37	3.15	Molybdenite	4.4 – 4.8	4.7
Acid igneous	2.30 – 3.11	2.61	Marcasite	4.7 – 4.9	4.85
Basic igneous	2.09 – 3.17	2.79	Pyrite	4.9 – 5.2	5.0
Metamorphic rocks			Bornite	4.9 – 5.4	5.1
Quartzite	2.5 – 2.70	2.60	Chalcocite	5.5 – 5.8	5.65
Schists	2.39 – 2.9	2.64	Cobaltite	5.8 – 6.3	6.1
Graywacke	2.6 – 2.7	2.65	Arsenopyrite	5.9 – 6.2	6.1
Marble	2.6 – 2.9	2.75	Bismuththinite	6.5 – 6.7	6.57
Serpentine	2.4 – 3.10	2.78	Galena	7.4 – 7.6	7.5
Slate	2.7 – 2.9	2.79	Cinnabar	8.0 – 8.2	8.1
Gneiss	2.59 – 3.0	2.80	Non-metallic minerals		
Amphibolite	2.90 – 3.04	2.96	Petroleum	0.6 – 0.9	—
Eclogite	3.2 – 3.54	3.37	Ice	0.88 – 0.92	—
Metamorphic	2.4 – 3.1	2.74	Sea Water	1.01 – 1.05	—
			Lignite	1.1 – 1.25	1.19
			Soft coal	1.2 – 1.5	1.32
			Anthracite	1.34 – 1.8	1.50
			Chalk	1.53 – 2.6	2.01
			Graphite	1.9 – 2.3	2.15
			Rock salt	2.1 – 2.6	2.22
			Gypsum	2.2 – 2.6	2.35
			Kaolinite	2.2 – 2.63	2.53
			Orthoclase	2.5 – 2.6	—
			Quartz	2.5 – 2.7	2.65
			Calcite	2.6 – 2.7	—
			Anhydrite	2.29 – 3.0	2.93
			Biotite	2.7 – 3.2	2.92
			Magnesite	2.9 – 3.12	3.03
			Fluorite	3.01 – 3.25	3.14
			Barite	4.3 – 4.7	4.47



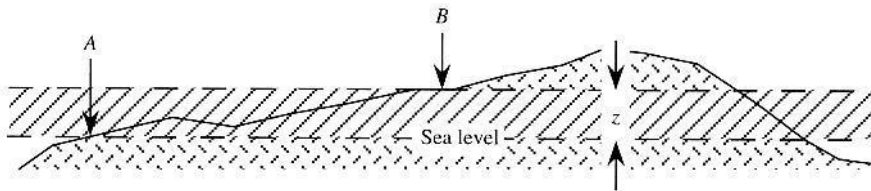
Knödel et al. (1997)



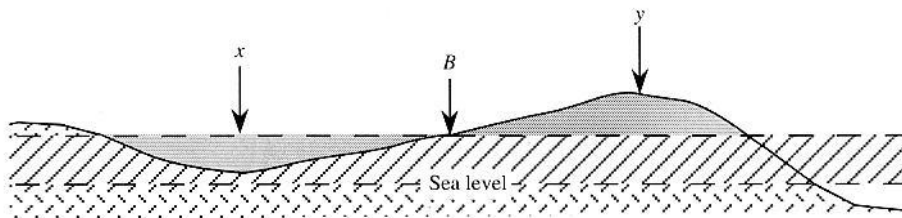
Burger (1992)

Höhenkorrektur

## Bouguerkorrektur



## Terrainkorrektur

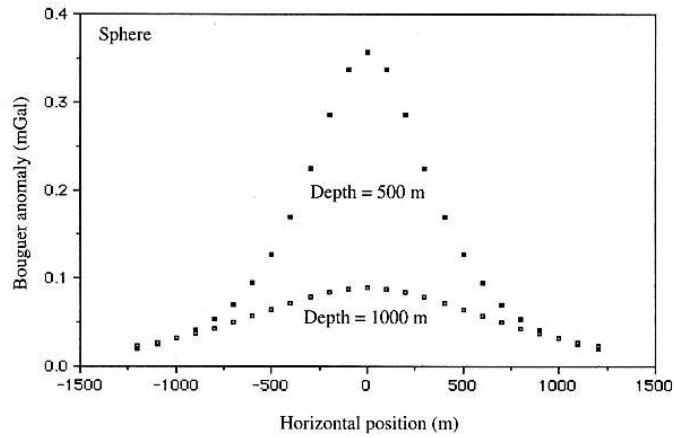


## Freiluftanomalie

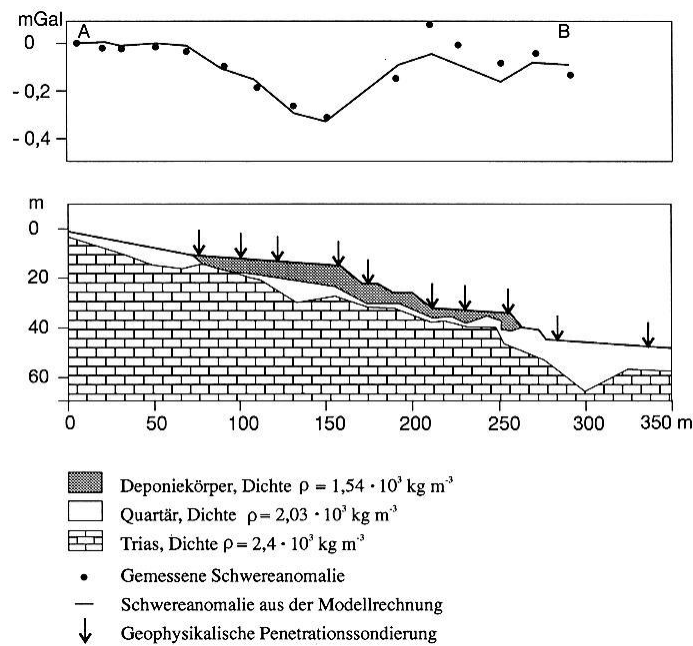
$$g_{\text{Freiluft}} = g_{\text{gemessen}} + \Delta g_{\text{Drift}} + \Delta g_{\text{Gezeiten}} + \Delta g_{\text{Höhe}} - g_{\text{normal}}$$

## Bougueranomalie

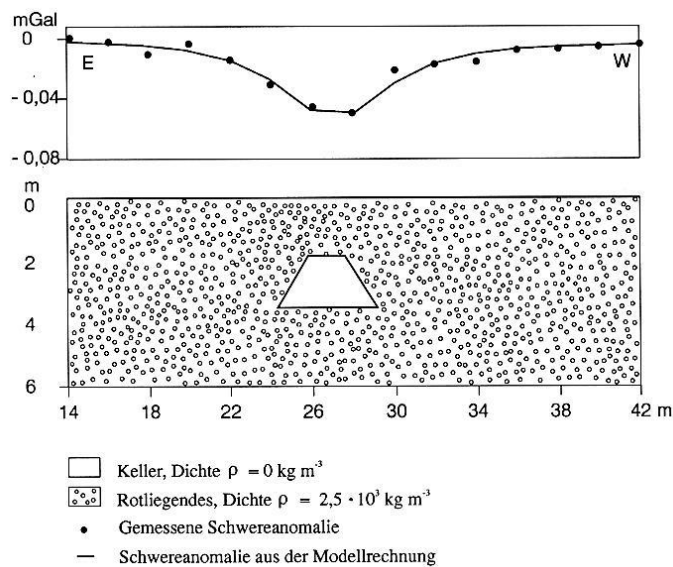
$$g_{\text{Bouguer}} = g_{\text{gemessen}} + \Delta g_{\text{Drift}} + \Delta g_{\text{Gezeiten}} + \Delta g_{\text{Höhe}} \\ + \Delta g_{\text{Bouguer}} + \Delta g_{\text{Terrain}} - g_{\text{normal}}$$



Knödel et al. (1997)



Knödel et al. (1997)



Knödel et al. (1997)

## Vermessungsarbeiten im Rahmen von geophysikalischen Messungen

Maßstab	Lagegenauigkeit
1 : 10 000	± 10 m
1 : 5 000	± 7,5 m
1 : 2 000	± 5 m
1 : 1 000	± 2 m
1 : 500	± 1 m

Knödel et al. (1997)

Meßverfahren	Meßgenauigkeit
Gravimetrie	± 0,03 m, für Spezialmessungen ± 0,003 m
Seismik	± 0,1 m
Elektrik, Magnetik	± 0,5 m

Knödel et al. (1997)

	Vermessungs- personal <sup>3</sup>	technischer Aufwand	Zeitauf- wand <sup>4</sup> in %
Freie Punktlage nach Topographie und Karte	0	Bandmaß	5 - 10
Freie Punktlage mit anschließender Lage- und Höhenbestimmung	2	Elektrooptische oder GPS-Ortsbestimmung	50 - 100
Abstecken von Profilen oder Meßpunkten nach Topographie	2	Theodolit	50 - 100
Abstecken von Profilen oder Meßpunktnetzen mit Lage- und Höhenbestimmung	2	Elektrooptische oder GPS-Ortsbestimmung	50 - 100
Herstellung eines Lage- und Höhenplanes der geophysikalischen Erkundungsfläche	3	Elektrooptische oder GPS-Ortsbestimmung + Darstellungssystem (Hard- und Software)	100 - 200

Knödel et al. (1997)

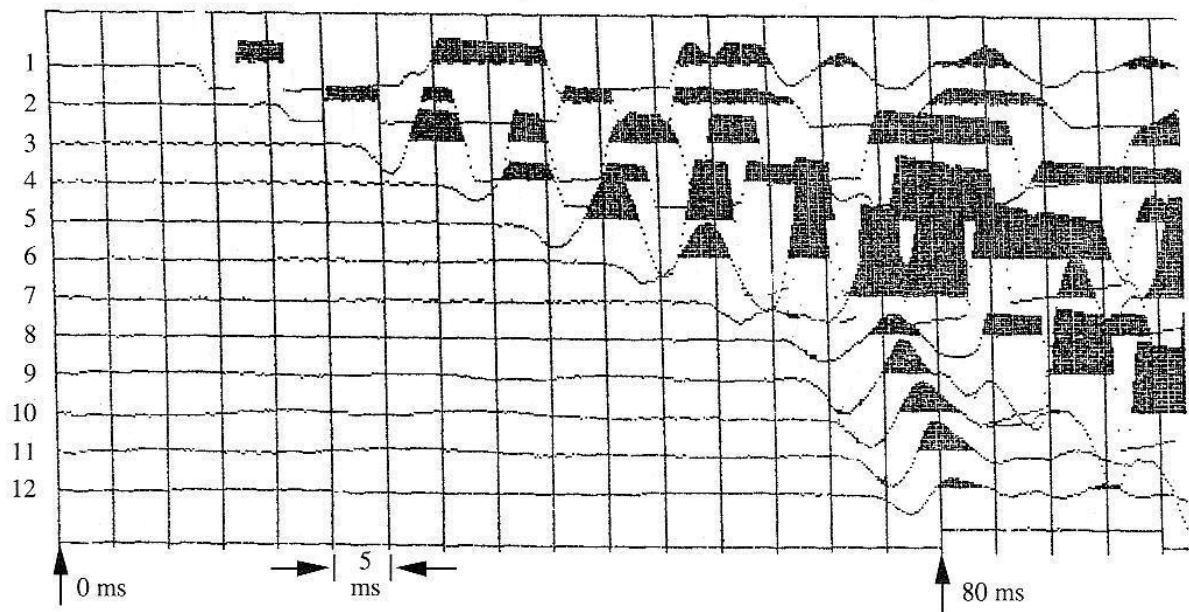


## Übung 1

## Auswertung eines Seismogramms

Erstellen Sie zunächst durch Picken der Ersteinsätze aus dem 12-Kanal-Seismogramm ein Laufzeit - Weg - Diagramm. Der Abstand des 1. Geophons zum Schusspunkt (offset) beträgt dabei 5 m, der Abstand zwischen den Geophonen 3 m. Die Zeitskala ist auf dem Seismogramm eingetragen.

Bestimmen Sie anhand der Laufzeitäste die Wellengeschwindigkeiten in der ersten und zweiten Schicht. Berechnen Sie anschließend die Mächtigkeit der Deckschicht (unter Annahme horizontaler Lagerung) wahlweise über die Interceptzeit oder die Überholentfernung.



Burger (1992)

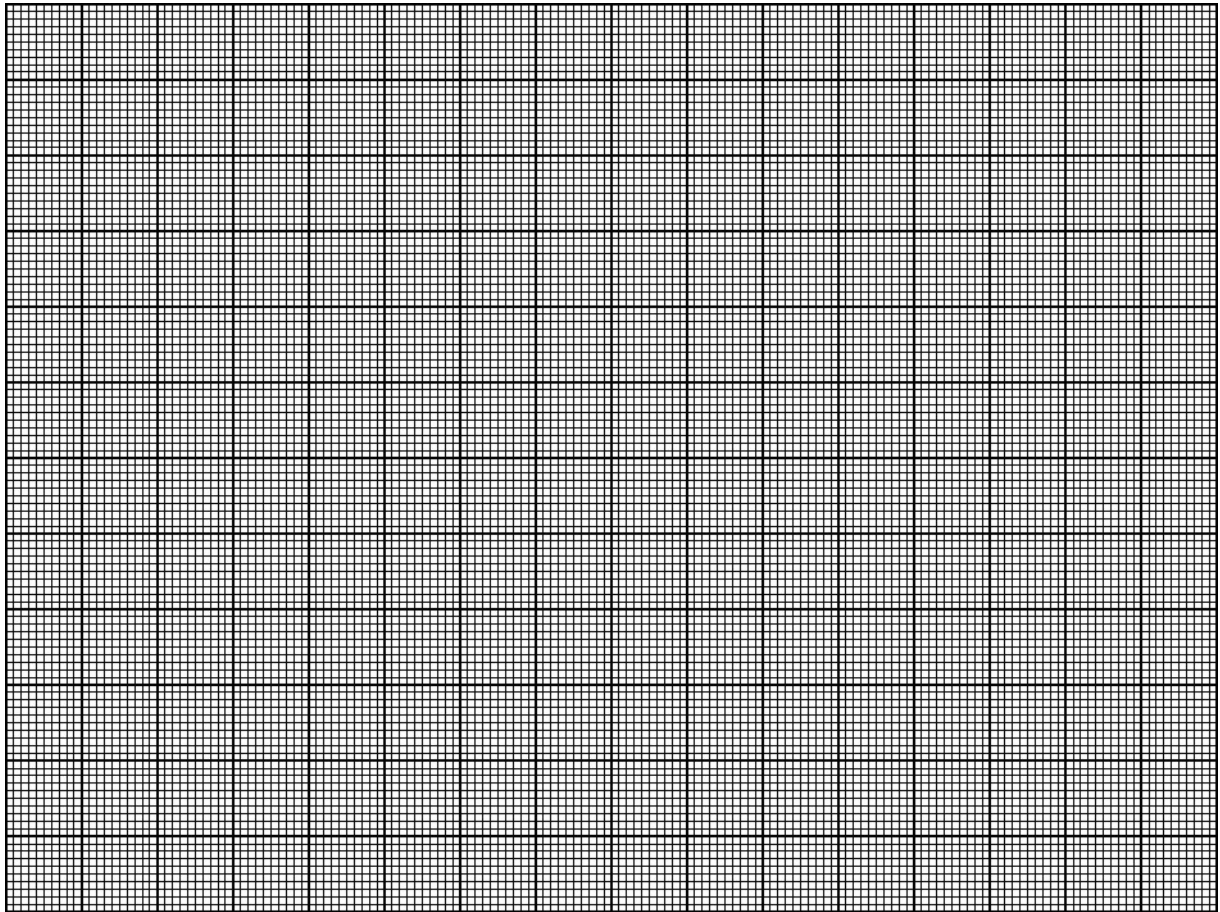
Mächtigkeit aus Überholentfernung

$$h = \frac{x_{12}}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

Mächtigkeit aus Interceptzeit

$$h = \frac{t_2}{2 \sqrt{\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}}}$$

Laufzeitdiagramm



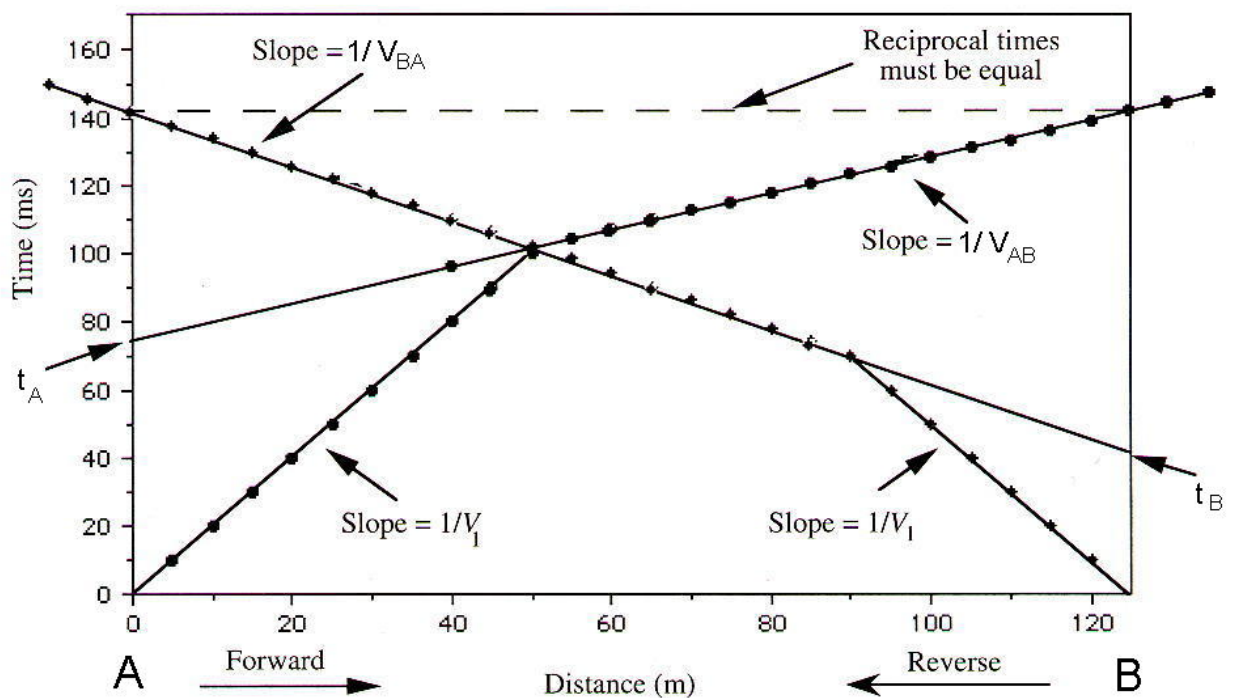
Mächtigkeit

Übung 2

**Interpretation eines Laufzeit-Weg-Diagramms mit Schuss und Gegenschuss**

Erstellen Sie aus dem Laufzeit-Weg-Diagramm ein Untergrundmodell. Wie groß sind die seismischen Wellengeschwindigkeiten in der obersten und zweiten Schicht? Wie groß ist der Einfallswinkel des Refraktionshorizontes? Wie tief liegt die Schichtgrenze bei A und bei B?

Skizzieren Sie Ihre Interpretation unterhalb des Laufzeit-Weg-Diagramms.



Burger (1992)

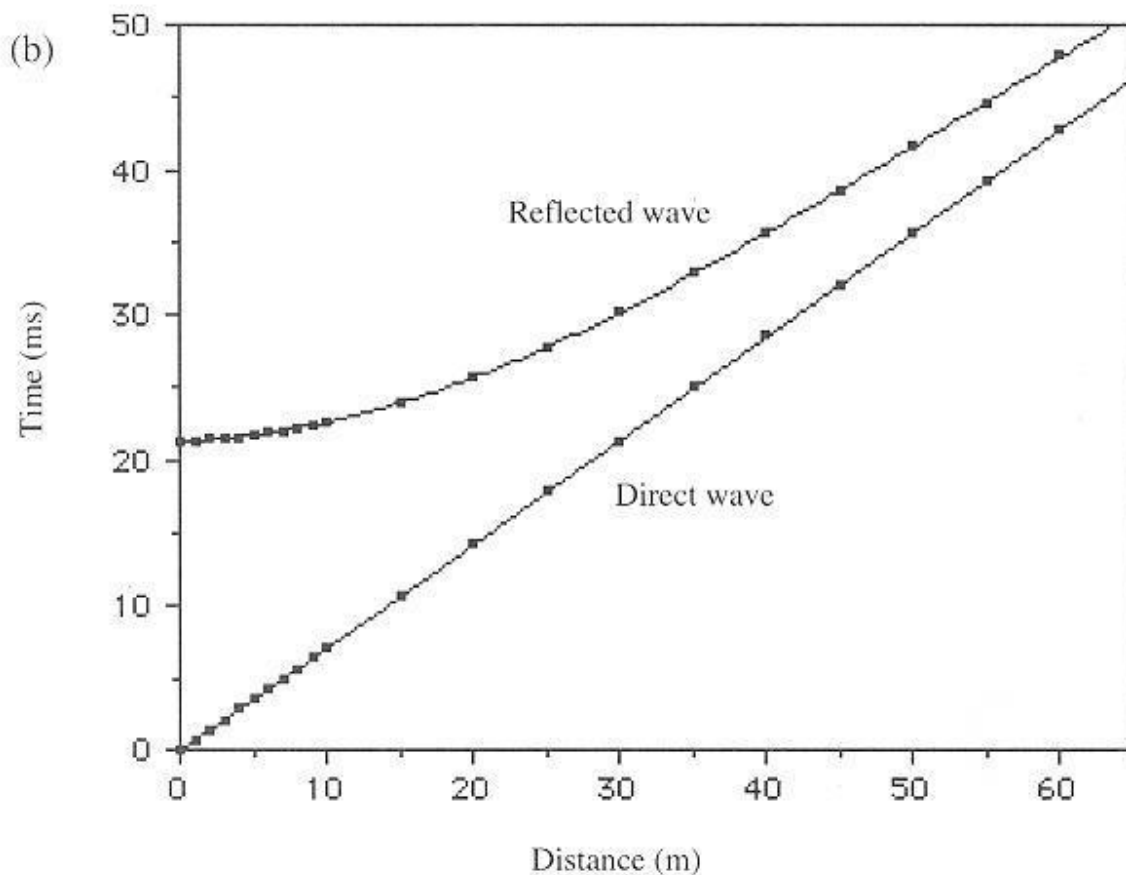
### Übung 3

## Tiefenlage des Reflektors

In einem Seismogramm wurden zunächst die Einsätze der direkten Welle und sowie die Einsätze der von der ersten Schichtgrenze reflektierten Wellen gepickt. Die entsprechenden Laufzeiten wurden dann in das untenstehende Laufzeit - Weg - Diagramm übertragen. Berechnen Sie mit Hilfe der Reflexionshyperbel die Tiefenlage des Reflektors.

Die Formel für die Reflexionshyperbel lautet

$$t(x) = \frac{\sqrt{x^2 + 4h_1^2}}{v_1}$$



## Übung 4

**Interpretation einer magnetischen Anomalie**

Im Bereich der Berghäuser Kapelle südlich des Schönberges wurde von Pucher (1991; Geol. Jb., E 48, 95-105) folgende Anomalie in der Totalintensität des Erdmagnetfeldes festgestellt.

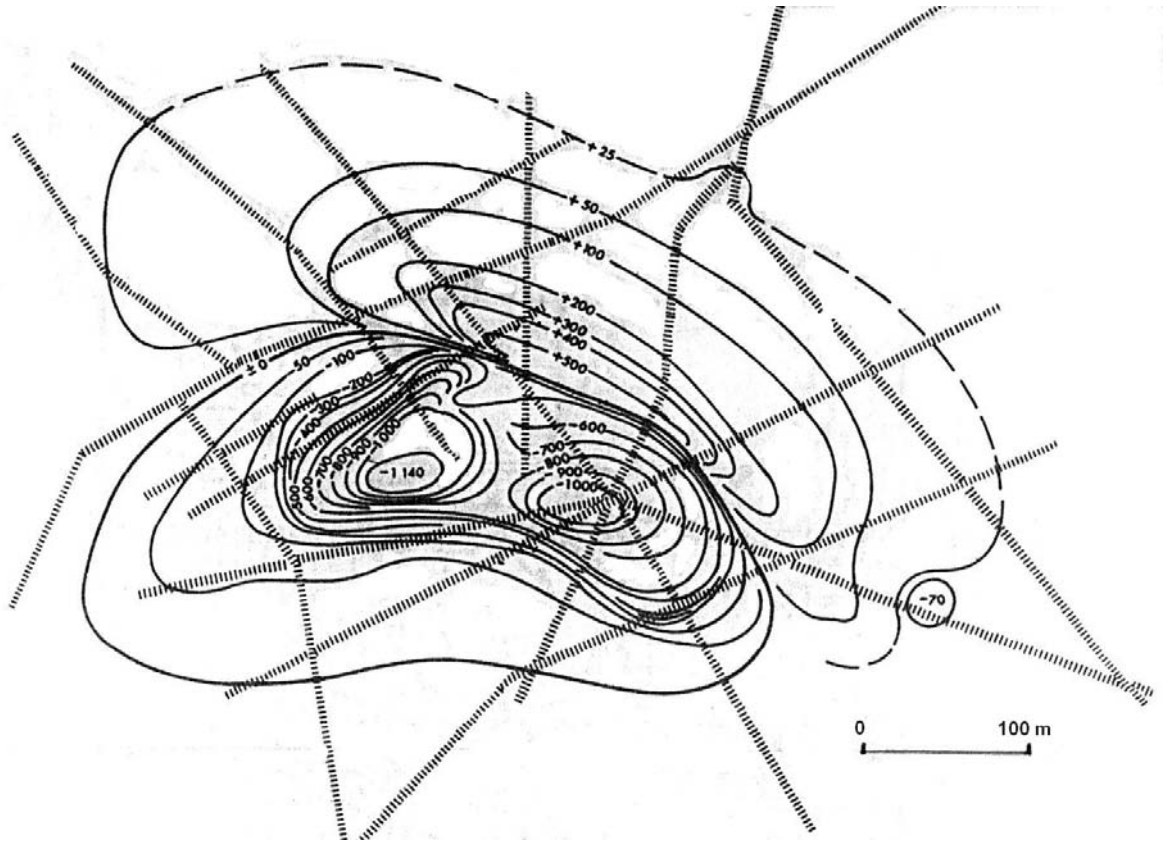
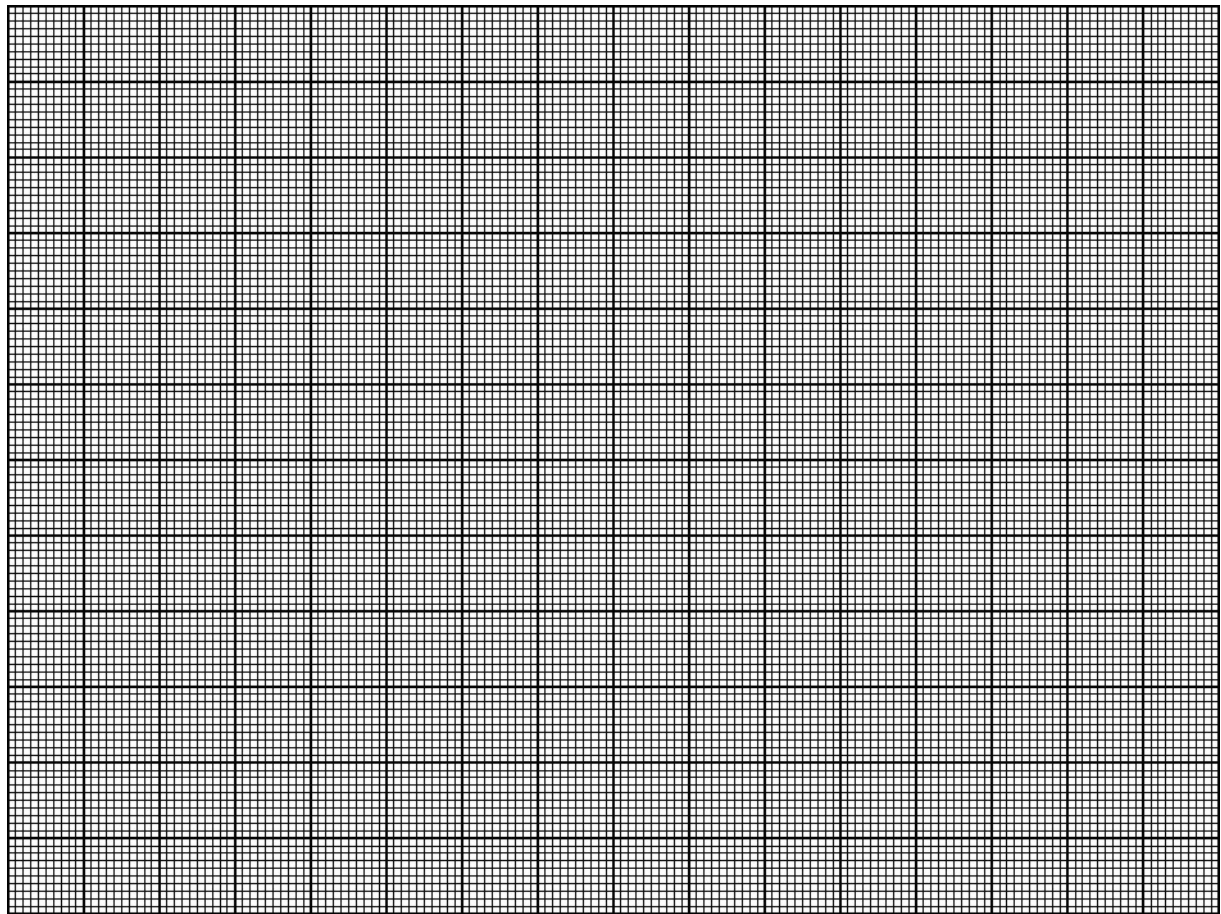


Abb. 1 Isoanomalienplan in nT für geomagnetische Anomalie im Bereich der Berghäuser Kapelle mit Profillinien (aus Pucher, 1991).

Zeichnen Sie ein NNE-SSW-Profil durch die Anomalie ( $x$  vs.  $\Delta F$ ) und versuchen Sie eine qualitative Interpretation hinsichtlich der Bedeutung von induzierter und remanenter Magnetisierung sowie der Störkörpergeometrie.

Geomagnetisches Profil



Qualitative Interpretation

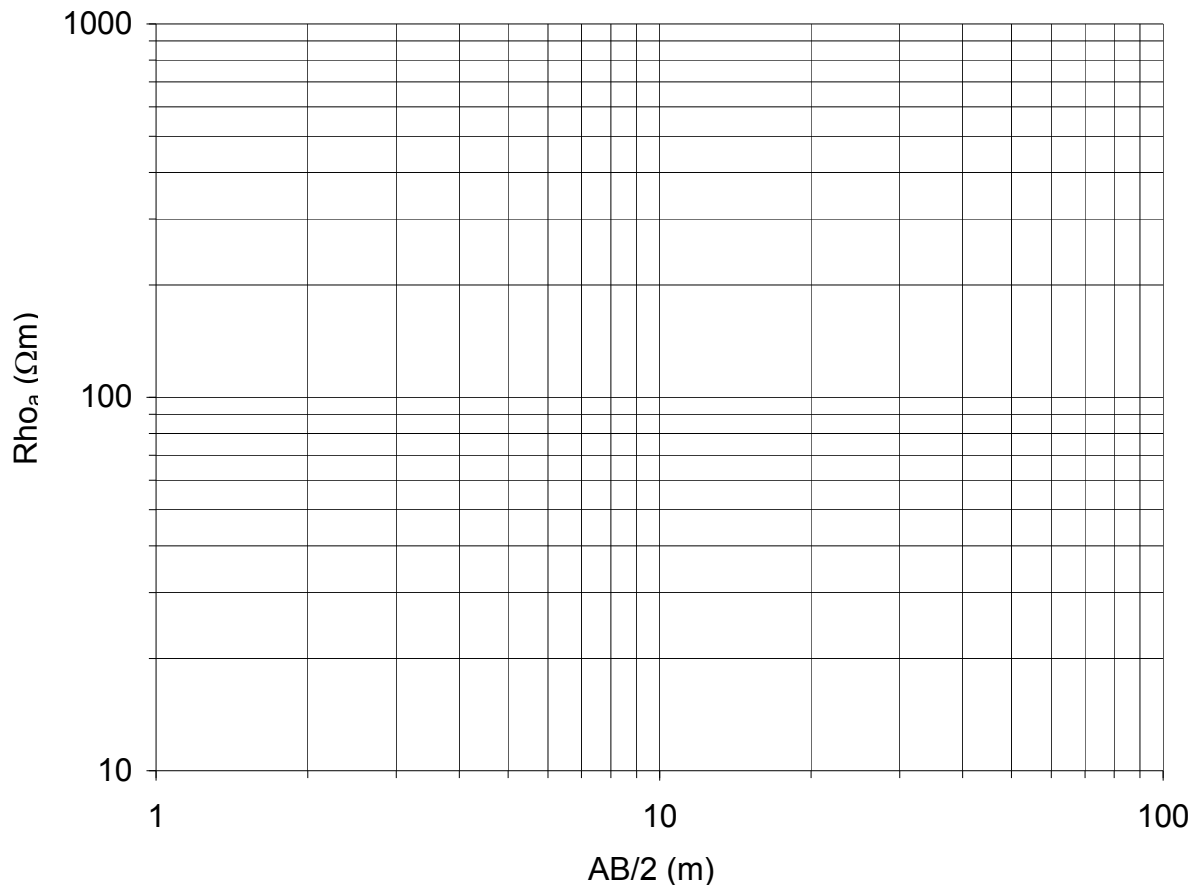
# Messprotokoll Gleichstrom-Geoelektrik

Projekt: Staufen  
 Messpunkt: MP 1

Tag: 20.6.01      Uhrzeit: 10.00

Elektrodengeometrie: Schlumberger VES  
 Abstand M - N: 1 m

AB/2 (m)	Rho <sub>a</sub> (Ωm)	Bemerkung	AB/2 (m)	Rho <sub>a</sub> (Ωm)	Bemerkung
1	107.2				
1.2	134.4		12	335.6	
1.5	163.1		15	306.1	
2	208.7		20	270.0	
3	278.9		30	269.9	
4	329.0		40	318.1	
5	361.3		50	361.3	
6	377.7		60	406.3	
8	374.9		80	537.1	
10	358.7		100		



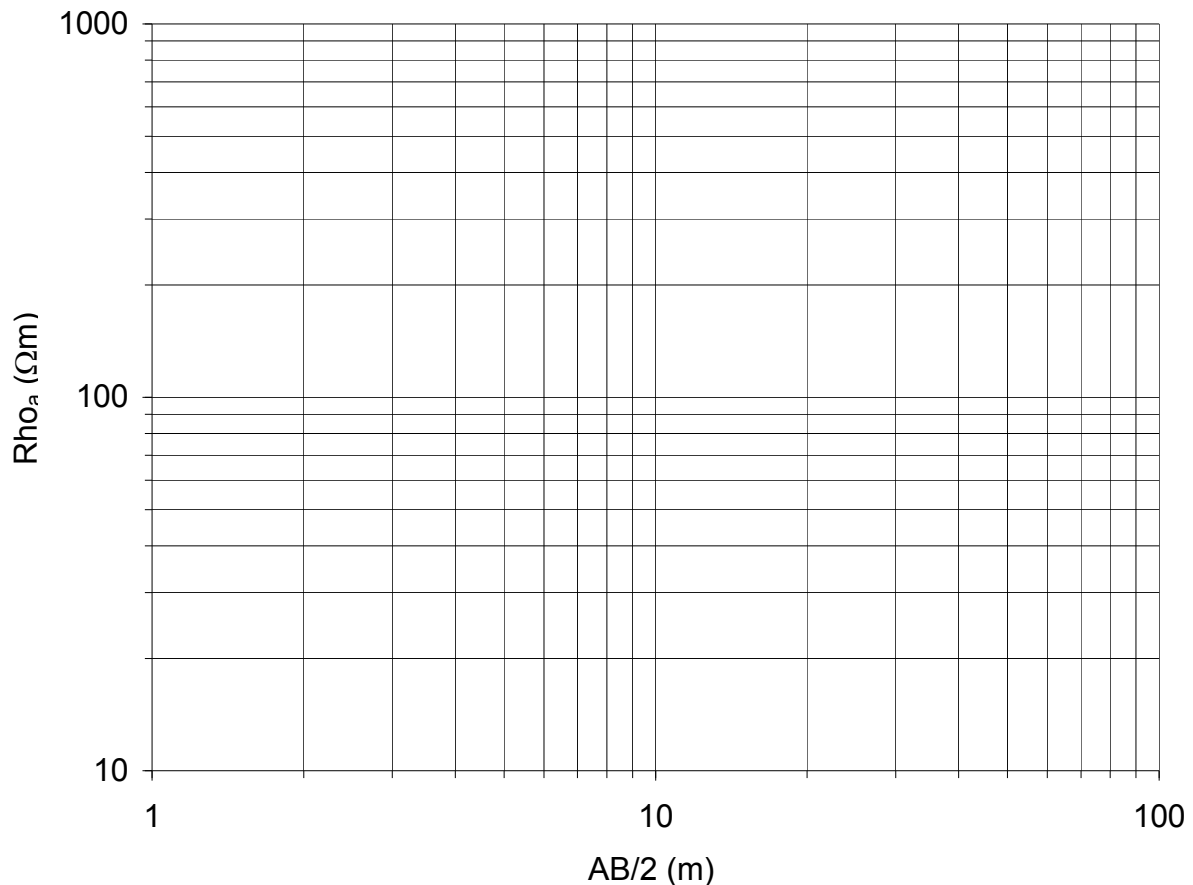
# Messprotokoll Gleichstrom-Geoelektrik

Projekt: Staufen  
 Messpunkt: MP 2

Tag: 20.6.01      Uhrzeit: 11.00

Elektrodengeometrie: Schlumberger VES  
 Abstand M - N: 1 m

AB/2 (m)	Rho <sub>a</sub> (Ωm)	Bemerkung	AB/2 (m)	Rho <sub>a</sub> (Ωm)	Bemerkung
1	122.6				
1.2	143.5		12	246.9	
1.5	168		15	223.1	
2	174.1		20	185.7	
3	203.9		30	168	
4	225.8		40	156.6	
5	246.2		50	150	
6	259.7		60	128.1	
8	270.3		80	143.4	
10	268		100		





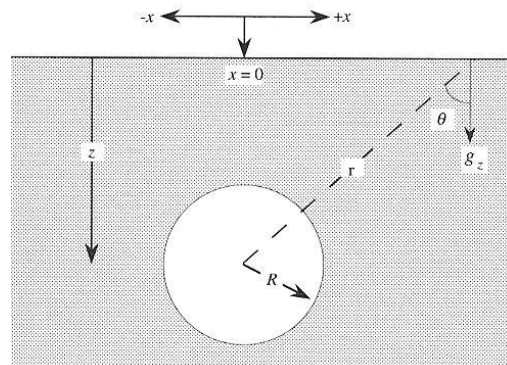
## Übung 6

## Hohlraumerkundung

Im Bereich eines ehemaligen Militärgeländes soll ein Tunnel mit Hilfe von Schwere-messungen lokalisiert werden. Nach alten Bauplänen soll der Tunnel einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Radius von 1 m haben. Sein Zentrum wird in 8 m Tiefe vermutet. Der Tunnel soll nicht verstürzt sein und die Dichte des umgebenden Ge-steins  $2000 \text{ kg m}^{-3}$  betragen. Berechnen Sie die maximal zu erwartende Schwerewirkung des Tunnels in mgal.

Da für den Tunnel ein kreisförmiger Querschnitt angenommen werden kann, lässt sich seine Schwerewirkung  $\Delta g$  mit Hilfe der Formel für einen horizontalen Zylinder (2D, unendliche Erstreckung senkrecht zur Profilebene) gemäß

$$\Delta g(x) = 2 \pi \cdot G \cdot R^2 \cdot \Delta \rho \cdot \frac{z}{x^2 + z^2}$$



berechnen. Dabei sind  $G$  die Gravitationskonstante ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ),  $R$  der Zylinderradius,  $\Delta \rho$  der Dichtekontrast zwischen Störkörper und Nebengestein sowie  $z$  die Tiefe der Zylindermitte und  $x$  der horizontale Abstand des Messpunktes von der Zylindermitte.

Wie groß muss die Genauigkeit in der Bestimmung der topographischen Höhe der Messpunkte sein, damit die Unsicherheiten in der Höhen- und Bouguerkorrektur zusammen nicht mehr als 50 % der erwarteten Schwereanomalie betragen (Einfluss der anderen Korrekturparameter wird vernachlässigt)?

$$\Delta g_{\text{Höhe}} + \Delta g_{\text{Bouguer}} = 0,3086 \cdot \Delta h - 0,04193 \cdot \rho \cdot \Delta h$$

In dieser Formel sind  $\Delta h$  in m und  $\rho$  in  $\text{gr cm}^{-3}$  einzugeben!