
GEOPHYSIKALISCHE GELÄNDEÜBUNGEN

SS 2016

Seismik

MESSSTANDORT RIEDHEIM A59/1

19. MAI 2016

ANN-KATHRIN EDRICH UND ALICIA ROHNACHER

BETREUER: NIKLAS THIEL UND THERESA PANTHER

Bei Rückfragen bitte an a.edrich@web.de und alicia@rohnacher.de wenden.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Theorie	2
2.1 Physikalische Grundlagen	2
2.2 Einschichtfall	4
2.3 Mehrschichtfall	6
2.4 Geneigte Schichtgrenze	8
2.5 Geneigte unebene Schichtgrenze	11
2.6 Technische Geräte	13
2.6.1 Geophon	13
2.6.2 SISSY (Seismik Impuls Source SYstem)	13
3 Versuchsaufbau und -durchführung	14
4 Auswertung	16
4.1 Auswertung von Profil 1	16
4.2 Auswertung von Profil 2	17
4.3 Auswertung von Profil 3	20
5 Interpretation	24
5.1 Interpretation von Profil 2	24
5.2 Interpretation von Profil 3	26
6 Fehlerbetrachtung	28
7 Zusammenfassung	31
A Anhang	v

1 Einleitung

In diesem Protokoll wird eine Messung vom 19. Mai 2016 am Standort A59/1 Riedheim ausgewertet, bei dem mit Seismik der Untergrund, insbesondere ein Basaltgang, untersucht wurde. Dabei wurden mechanische Wellen mit einem Hammerschlag sowie einer Verpuffung angeregt. Die Messungen hatten das Ziel die Topographie, den Verlauf und die seismischen Geschwindigkeiten des Basaltgangs zu ermitteln. Des weiteren wurde an einem weiteren, vom Basaltgang unabhängigen, Profil eine Messung zur Ermittlung des Aufbaus des Untergrunds durchgeführt. In diesem Protokoll sollen nur die Messungen entlang der Profile 2 und 3 ausgewertet werden und die Auswertung einer dritten Messung entlang von Profil 1 senkrecht über den Basaltgang wird von Marius Sulzer und Hendrik Büker übernommen.

2 Theorie

2.1 Physikalische Grundlagen

Die Seismik beruht auf der mechanischen Anregung von Wellen, die sich dann im Untergrund ausbreiten. Die Messgröße in der Seismik ist die Bodenschwinggeschwindigkeit. Es wird zwischen drei verschiedenen Wellentypen unterschieden. Die Oberflächenwellen breiten sich, wie ihr Name bereits sagt, an der Oberfläche aus. Es werden hauptsächlich zwei verschiedene Arten von Oberflächenwellen unterschieden, nämlich die Rayleigh- und die Lovewelle. Die Rayleigwelle vollführt eine elliptische Bewegung, während die Lovewelle in horizontaler Richtung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingt. Die Lovewelle ist deutlich schneller als die Rayleighwelle, wohingegen die Rayleighwelle die größere Amplitude besitzt. [2]

Im Untergrund werden zwei weitere Wellentypen unterschieden. Die Kompressionswelle, auch Kopf- oder P-Welle genannt, ist die schnellste Welle. Sie ist eine Longitudinalwelle, d.h. sie schwingt in Richtung der Ausbreitung. Die Geschwindigkeit der P-Welle ergibt sich zu

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}, \quad (1)$$

wobei v_p in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ die Ausbreitungsgeschwindigkeit, K das Kompressionsmodul in $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, μ das Schermodul in $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ und ρ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ die Dichte beschreibt [5, 2]. Das Kompressionsmodul gibt den Druck an, der für eine bestimmte relative Volumenänderung notwendig ist [2]. Das Schermodul, auch Schubmodul, gibt an wie sich ein Material unter einer Schubspannung linear verformt [2].

Die Schwerwelle, auch S-Welle genannt, ist eine Transversalwelle, d.h. sie schwingt senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_s in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ergibt sich zu

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \quad (2)$$

wobei μ wieder das Schermodul und ρ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ wie oben die Dichte ist [5, 2]. Gleichung (2) ist nur noch von der Dichte und dem Schermodul abhängig, woran erkennbar ist, dass in Flüssigkeiten keine Scherwellen existieren, weil deren Schermodul annähernd null ist [6]. Eigentlich sind die Wellen, die hier betrachtet werden dreidimensionale Gebilde, die sich unter idealen Voraussetzungen von einer punktförmigen Quelle kugelförmig mit wachsendem Radius ausbreiten. Mit

Hilfe des Huygensschen Prinzips, das besagt, dass jeder Punkt des Mediums, der von einer Wellenfront getroffen wird, Ausgangspunkt einer neuen Welle ist, lässt sich die Ausbreitung von Wellen nachvollziehen. Dabei überlagern sich die neuen Wellen und es kommt je nach Phasenverschiebung zwischen den Wellen zur Verstärkung oder Abschwächung. Die Einhüllende der Überlagerung der Wellen bildet die Wellenfront. Vereinfacht wird in diesem Protokoll die Wellenfront als ein Wellenstrahl dargestellt. Dieser Wellenstrahl steht in isotropen Medien immer senkrecht auf der Wellenfront. Für die Wellen gelten nicht nur das oben genannte Snelliussche Brechungsgesetz aus der Optik, sondern auch die Gesetze der Reflexion und Beugung [1, 2]. Das Prinzip der Refraktionsseismik, wie es bei dieser Messung angewendet wurde, kann jedoch nicht mit den Gesetzen der Optik erklärt werden, sondern nur mit einem wellenmechanischen Ansatz.

In diesem Protokoll wird ein Versuch behandelt bei dem die Laufzeit einer refraktierten P-Welle betrachtet wird und alle anderen auftretenden Wellentypen, abgesehen von der direkten Welle, vernachlässigt werden. Refraktion tritt auf, wenn eine Welle im kritischen Winkel θ_K auf eine Grenzfläche im Untergrund trifft und sich dann entlang dieser ausbreitet. Voraussetzung dazu ist, dass die Geschwindigkeit der darunterliegenden Schicht v_2 größer ist, als die Geschwindigkeit der oberen Schicht v_1 . Beide Geschwindigkeiten werden in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ angegeben. Der kritische Winkel unter dem eine Welle auf eine Grenzschicht treffen muss, ergibt sich aus dem Snelliusschen Brechungsgesetz

$$v_2 \cdot \sin(\alpha_1) = v_1 \cdot \sin(\alpha_2), \quad (3)$$

wobei α_1 der Einfallswinkel und α_2 der Ausfallwinkel ist, die beide zum Lot hin gemessen werden. Der kritische Winkel θ_K ergibt sich aus der Bedingung, dass der Ausfallwinkel $\alpha_2 = 90^\circ$ betragen soll und damit $\sin(\alpha_2) = 1$. Gleichung (3) wird dann zu

$$\sin(\alpha_1) = \frac{v_1}{v_2} = \sin(\theta_K) \quad (4)$$

und damit

$$\alpha_1 = \theta_K = \arcsin\left(\frac{v_1}{v_2}\right). \quad (5)$$

[5] Eine graphische Darstellung der für diesen Versuch relevanten Größen, kann Abbildung 1 entnommen werden.

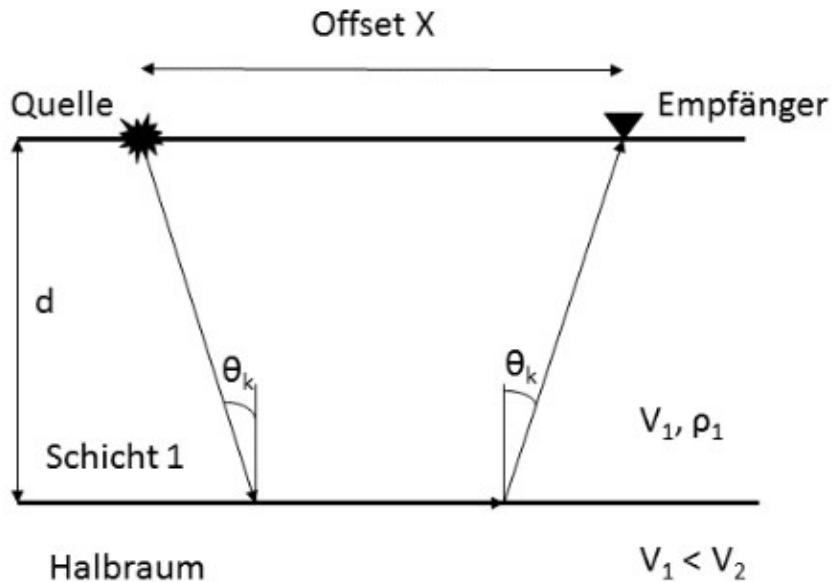


Abbildung 1: Darstellung der relevanten Größen

2.2 Einschichtfall

Bei Empfängern (Geophonen) mit geringem Offset werden die Ersteinsätze von der direkten Welle gebildet. Die direkte Welle wird jedoch nach einer gewissen Zeit von der schnelleren P-Welle eingeholt. Das bedeutet, dass die Ersteinsätze, die die Geophone mit größerem Offset registrieren von der refraktierten Welle herrühren. Im Laufzeitdiagramm, wie schematisch in Abbildung 2 dargestellt, wird die Laufzeit über den Offset aufgetragen und es ergibt sich eine Gerade der direkten Welle, die von einer flacheren Geraden der refraktierten Welle geschnitten wird. Aus der Steigung der beiden Geraden m_d und m kann auf die Geschwindigkeit der Schicht v_1 und des Halbraums v_2 darunter geschlossen werden. Der Zusammenhang ergibt sich wie folgt zu

$$m = \frac{1}{v} \quad (6)$$

bzw. dann zu

$$v = \frac{1}{m} \quad (7)$$

[5, 2]. Die Interceptzeit t_i , die die theoretische Einsatzzeit der refraktierten Welle beschreibt, kann aus dem Schnittpunkt der Verlängerung der Geraden der refraktierten Welle mit der y-Achse (Zeitachse) aus dem Laufzeitdiagramm gewonnen

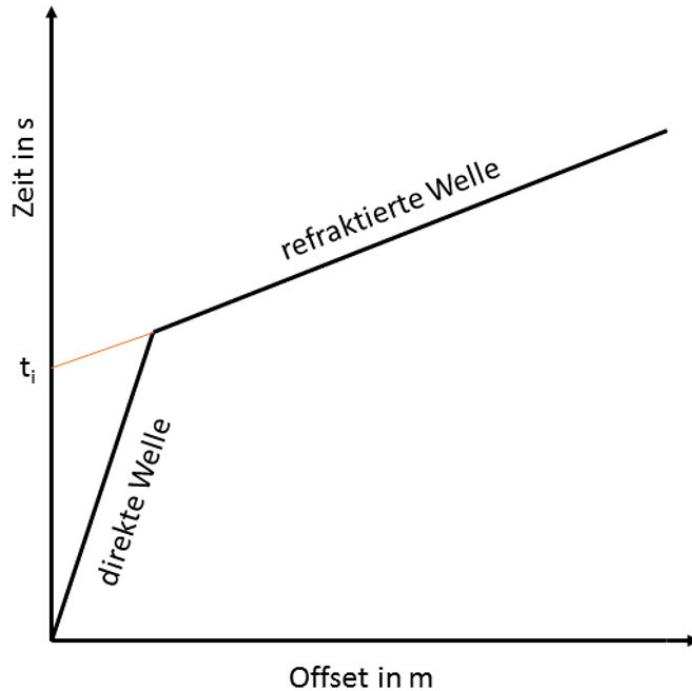


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Laufzeitdiagramms beim Einschichtfall. In rot dargestellt ist die gedachte Verlängerung des Geradeabschnitts der refraktierten Welle, angelehnt an Skizze in [5]

werden [11]. Außerdem gilt folgender funktioneller Zusammenhang

$$t_i = \frac{2d\cos(\theta_K)}{v_1}, \quad (8)$$

wobei d in m die Schichtdicke beschreibt und θ_K der kritische Winkel gegenüber dem Lot der Schichtgrenze in Grad ist.

Mit der Relation $\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$ und Gleichung (4) lässt sich folgender Zusammenhang aufstellen

$$\cos(\theta_K) = \sqrt{\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2^2}}. \quad (9)$$

Diese Relation kann nun in die Gleichung (8) eingesetzt werden und es ergibt sich

$$t_i = 2d \sqrt{\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2^2 \cdot v_1^2}}. \quad (10)$$

Gleichung (10) kann durch simple Umformungen nach der Schichtdicke d aufgelöst werden und es ergibt sich

$$d = \frac{t_i}{2} \cdot \sqrt{\frac{v_1^2 \cdot v_2^2}{v_2^2 - v_1^2}}. \quad (11)$$

Die Laufzeit t_d in s der direkten Welle kann mit der Gleichung für eine gleichförmige Bewegung $s = v \cdot t$ berechnet werden. Diese beschreibt die zurückgelegte Strecke durch die Geschwindigkeit und die Laufzeit. Dadurch ergibt sich

$$t_d = \frac{x}{v_1}, \quad (12)$$

wobei x in m der Offset ist. Die Laufzeit der refraktierten Welle t_1 in s kann wie folgt bestimmt werden

$$t_1 = \frac{x}{v_2} + \frac{2d\cos(\theta_K)}{v_1}. \quad (13)$$

Der Winkel θ_K kann wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben aus den Schichtgeschwindigkeiten berechnet werden.

2.3 Mehrschichtfall

Wichtige Voraussetzung für die Anwendung der Refraktionsseismik ist dass die Schichtgeschwindigkeiten mit der Tiefe zunehmen. Wie bereits beim Einschichtfall kann für jede Schicht i der kritische Winkel θ_{Ki} mit Gleichung (5) berechnet werden. Im Laufzeitdiagramm, wie schematisch in Abbildung 3 dargestellt, ist ebenfalls wieder die Gerade der direkten Welle erkennbar, die von den Geraden der refraktierten Welle der ersten Schicht in flacherem Winkel geschnitten wird. Diese Gerade wird dann in noch flacherem Winkel von der refraktierten Welle der zweiten Schicht geschnitten und so weiter. Die einzelnen Schichtgeschwindigkeiten können analog zum Einschichtfall aus der reziproken Steigung m_i der jeweiligen Geradenstücke i ermittelt werden, also ergibt sich die Geschwindigkeit der n -ten Schicht v_n zu

$$v_n = \frac{1}{m_n}. \quad (14)$$

Die Laufzeit der Welle in den einzelnen Schichten ist abhängig von der Schichtmächtigkeit.

Die Interceptzeiten t_{ii} der einzelnen Schichten können analog zum Einschichtfall durch den Schnittpunkt der Verlängerung der Geradenabschnitte der jeweiligen Schicht mit der Zeitachse ermittelt werden.

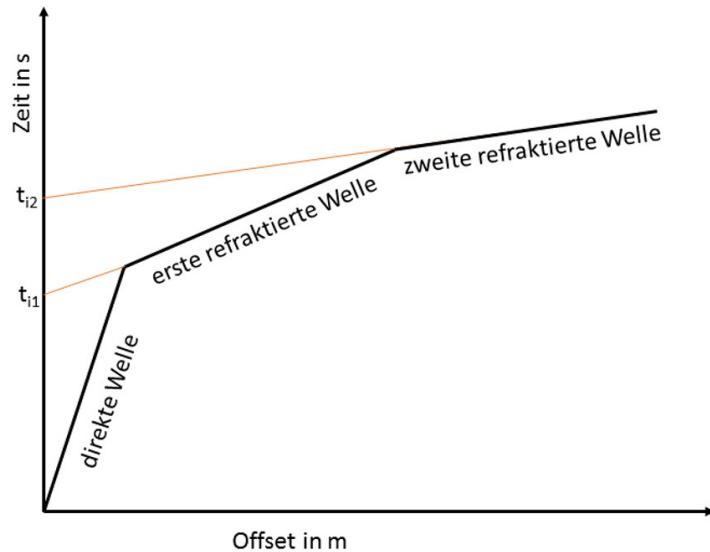


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Laufzeitdiagramms beim Mehrschichtfall. In rot dargestellt sind die gedachten Verlängerungen der Geradenabschnitte der refraktierten Wellen, angelehnt an Skizze in [5]

Exemplarisch werden nun die Rechenschritt für einen Zweischichtfall über einem Halbraum aufgeführt. Dieser Abschnitt wird nur der Vollständigkeit halber betrachtet, da es sich bei Auswertung als nicht relevant herausgestellt hat.
Die Laufzeit der ersten refraktierten Welle an der Grenzschicht zwischen erster und zweiter Schicht ergibt sich zu

$$t_2 = \frac{x}{v_2} + t_{i2}. \quad (15)$$

Analog ergibt sich für die Laufzeit der zweiten refraktierten Welle an der Grenze zwischen der zweiten Schicht und dem Halbraum

$$t_3 = \frac{x}{v_3} + t_{i2}. \quad (16)$$

In beiden Fällen ist x in m der Offset. Dieses Schema kann für beliebig viele weitere Schichten fortgesetzt werden. Wie auch beim Einschichtfall kann die Interceptzeit beider Schichten mit Hilfe des kritischen Winkels ausgedrückt werden.

$$t_{i2} = \frac{2d_1 \cos(\theta_{K1})}{v_1} \quad (17)$$

$$t_{i3} = \frac{2d_1 \cos(\theta_{12})}{v_1} + \frac{2d_2 \cos(\theta_{K2})}{v_2} \quad (18)$$

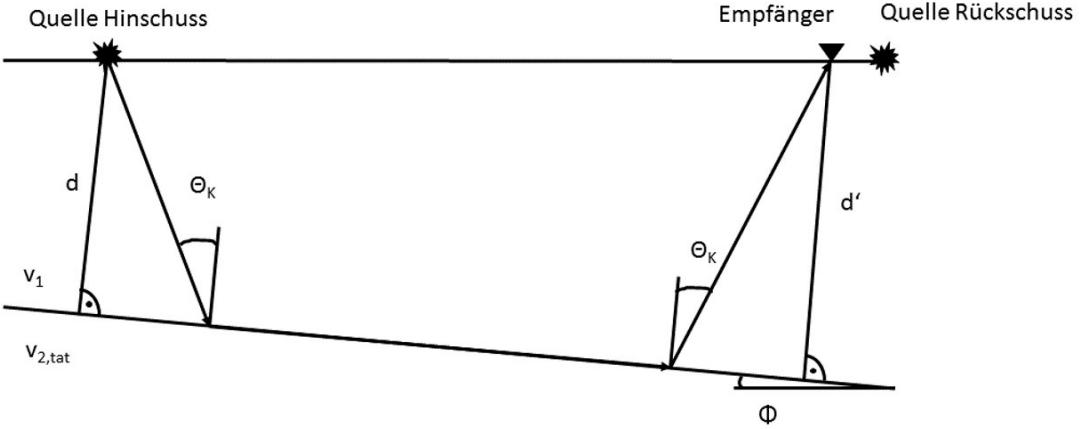


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Untergrundes beim Fall einer geneigten Schichtgrenze mit allen relevanten Größen, angelehnt an Skizze in [5]

d_1 und d_2 in m sind die Schichtdicken der ersten und zweiten Schicht, θ_{K1} und θ_{K2} sind die kritischen Winkel an der Grenzfläche zwischen Schicht 1 und 2 sowie der Schicht 2 und dem Halbraum darunter, gemessen zum Lot auf die Schichtgrenze und θ_{12} ist der Winkel an der ersten Schichtgrenze gemessen zum Lot, der beschreibt unter welchem die Welle auf die Schichtgrenze treffen muss, damit sie nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz (3) so verläuft, dass sie auf die zweite Schichtgrenze unter dem kritischen Winkel θ_{K2} auftrifft. Durch Umformungen ergibt sich für die Schichtdicken

$$d_1 = \frac{t_{i2} \cdot v_1}{2\cos(\theta_{K1})} = \frac{t_{i2} \cdot v_1}{2\cos(\arcsin(\frac{v_1}{v_2}))} \quad (19)$$

$$d_2 = (t_{i3} - \frac{2d_1 \cos(\theta_{12})}{v_1}) \cdot \frac{v_2}{2\cos(\theta_2)} = (t_{i3} - \frac{2d_1 \cos(\arcsin(\frac{v_1}{v_3}))}{v_1}) \cdot \frac{v_2}{2\cos(\arcsin(\frac{v_2}{v_3}))} \quad (20)$$

wobei die Zusammenhänge der Winkel mit den Geschwindigkeiten aus dem Snelliusschen Brechungsgesetz herröhren. [5]

2.4 Geneigte Schichtgrenze

Im Gelände kann oft nicht davon ausgegangen werden, dass die Schichten im Untergrund horizontal geschichtet sind. Es muss davon ausgegangen werden, dass sie eine gewisse Neigung aufweisen. Eine schematische Darstellung des Untergrundes mit den im Folgenden relevanten Größen ist in Abbildung 4 zu finden. Deshalb werden nicht nur an einem Ende des Profils seismische Wellen angeregt, der Hinschuss, sondern auch am anderen Ende des Profils geschoss-

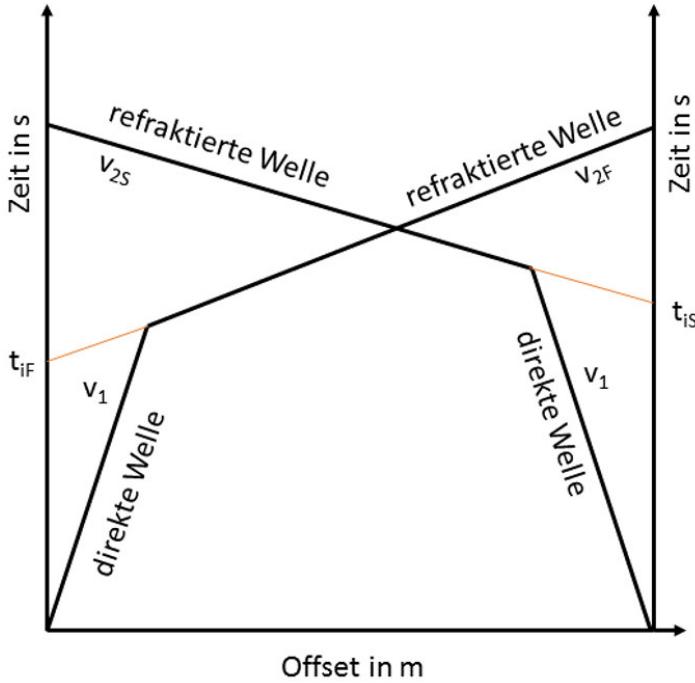


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Laufzeitdiagramms beim Fall einer geneigten Schichtgrenze. Die roten Linien stellen die gedachte Verlängerung der Geradenabschnitte der refraktierten Wellen dar, angelehnt an Skizze in [5]

sen, der Rückschuss. Werden die Kurven des Laufzeitdiagramms, schematisch in Abbildung 5 dargestellt, beider Schüsse in dasselbe Diagramm geplottet, ist an der Symmetrie, der Steigung der Geradenabschnitte, erkennbar ob die Schichten im Untergrund geneigt sind oder nicht. Sind Hin- und Rückschuss symmetrisch, dann ist der Untergrund horizontal geschichtet. Sind die beiden Laufzeitdiagramme nicht symmetrisch, dann sind die Geschwindigkeiten, die aus den Geradenabschnitten bestimmt werden können nicht mehr die tatsächlichen Schichtgeschwindigkeiten, sondern nur noch Scheingeschwindigkeiten. Grund dafür ist, dass die refraktierte Welle nun nicht mehr parallel zur Oberfläche verläuft und daraus unterschiedlich lange Zeiten zum Ab- und Auftauchen resultieren. Das führt beim Hin- und Rückschuss zu unterschiedlich steilen Geradenabschnitten der selben Schichtgrenze und damit auch zu zwei verschiedenen Geschwindigkeiten für das Schichtfallen v_F und das Schichtsteigen v_S sowie unterschiedlichen Interceptzeiten t_{iF} und t_{iS} . Dabei gilt $v_F < v_S$ und $t_{iF} < t_{iS}$. Trotz der unterschiedlichen Steigungen muss die Gesamtaufzeit von Hin- und Rückschuss gleich sein, schließlich durchlaufen die Wellen in beiden Fällen die selbe Gesamtstrecke. Die tatsächliche Geschwindigkeit, hier beispielhaft für eine Schicht und einen darun-

terliegenden Halbraum, ergibt sich aus

$$v_{2,tat} = \frac{2v_S v_F \cos(\phi)}{v_F + v_S}. \quad (21)$$

Dabei ist ϕ in Grad die Neigung der Schicht. Die tatsächliche Geschwindigkeit kann auch wie folgt ausgerechnet werden:

$$v_2 = \frac{v_1}{\sin(\theta_K)}. \quad (22)$$

Gleichung (22) wird in diesem Protokoll zur Kontrolle für Gleichung (21) verwendet.

Die Geschwindigkeit v_1 , die sich aus der direkten Welle ergibt, ist noch die tatsächliche Geschwindigkeit, da die geneigte Schichtgrenze die Laufzeit der direkten Welle nicht beeinflusst. Die Neigung der Schichtgrenze ϕ sowie der kritische Winkel kann anhand dieser beiden Gleichungen (24) und (23) ermittelt werden.

$$\sin(\theta_K - \phi) = \frac{v_1}{v_{2S}} \quad (23)$$

$$\sin(\theta_K + \phi) = \frac{v_1}{v_{2F}} \quad (24)$$

Durch Umformung der Gleichungen (24) und (23) ergeben sich folgende Formeln für die direkte Berechnung der Neigung (26) und des kritischen Winkels (25).

$$\theta_K = \frac{1}{2} \cdot (\arcsin(\frac{v_1}{v_{2S}}) + \arcsin(\frac{v_1}{v_{2F}})) \quad (25)$$

$$\phi = \arcsin(\frac{v_1}{v_{2F}}). \quad (26)$$

Mit den nun bekannten Informationen kann auch die Schichtdicke unterhalb des Anfangs- und Endpunktes des Profils bestimmt werden. Die Dicke der Schicht mit der geringeren Tiefe d in m beträgt

$$d = \frac{t_{iS} \cdot v_1}{2 \cdot \cos(\theta_K)} \quad (27)$$

und die Dicke der Schicht mit der größeren Tiefe d' beträgt

$$d' = \frac{t_{iF} \cdot v_1}{2 \cdot \cos(\theta_K)}. \quad (28)$$

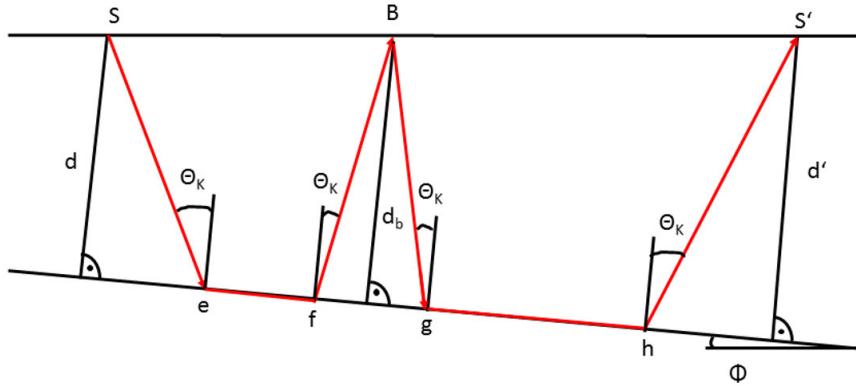


Abbildung 6: Schematische Darstellung der relevanten Parameter für die Methode der Verzögerungszeiten, angelehnt an Skizze in [5]

Genau wie für die tatsächliche Geschwindigkeit gibt es eine Kontrollgleichung, die wie folgt lautet

$$d = d' - s \cdot \sin(\phi), \quad (29)$$

wobei s in m die Gesamtauslage des Profils darstellt.[5]

2.5 Geneigte unebene Schichtgrenze

Treten bei der Auswertung des Laufzeitdiagramms anstatt von Geradenabschnitten, Abschnitte mit andersweitigem Verlauf auf, ist das ein Hinweis darauf, dass die Topographie der Grenzschicht nicht eben ist. Die neue Gestalt des Abschnitts im Laufzeitdiagramm spiegelt in irgendeiner Weise wider, wie die Topographie auf der Grenzschicht verläuft, da je nach dem ob sich Mulden oder Hügel auf der Schichtgrenze befinden, die Laufzeit der Welle unterschiedlich lang ist. Mit dem Verfahren der Verzögerungszeiten kann nun anhand der einzelnen Laufzeiten die Topographie ermittelt werden.

Im folgenden wird nun gezeigt wie bei einer geneigten Schichtgrenze mit unebenem Refraktor der Refraktor rekonstruiert werden kann. Dieses Verfahren ist eigentlich ausgelegt auf einen ebenen Refraktor, kann aber in guter Näherung auch für einen Refraktor mit Topographie angewendet werden unter der Voraussetzung, dass der Refraktor in Abbildung 6 zwischen f und g nicht zu stark gekrümmmt ist.

In Abbildung 6 ist der Strahlenverlauf von einem Anfangspunkt S über einen Referenzpunkt B zu dem Endpunkt S' , der von S den Abstand X in m hat, dargestellt.

Dabei beträgt die Laufzeit über die Punkte $e - f - g - h$

$$t_X = \frac{X \cos(\phi)}{v_2} + \frac{(d + d') \cos(\theta_K)}{v_1}, \quad (30)$$

wobei ϕ der Neigungswinkel des Refraktors ist und v_1 und v_2 die Geschwindigkeiten in der oberen und in der unteren Schicht sind. Für die Ermittlung von v_2 kann eine Ausgleichsgerade durch das Laufzeitdiagramm gelegt und dann das Mittel von Hin- und Rückschuss verwendet werden. t_X kann auch direkt aus dem Laufzeitdiagramm entnommen werden. Es ist der Schnittpunkt des letzten Geradenabschnitts mit der y-Achse (Zeitachse). Diese Zeit muss bei Hin- und Rückschuss gleich sein.

Die Laufzeiten von S nach B bzw. von B nach S' beträgt

$$t_{SB} = \frac{x_B \cdot \cos(\phi)}{v_2} + \frac{(d + d_B) \cos(\phi)}{v_1} \quad (31)$$

und

$$t_{BS'} = \frac{(X - x_b) \cos(\phi)}{v_2} + \frac{(d' + d_B) \cos(\theta)}{v_1}, \quad (32)$$

wobei d_B die Lottiefe in m des Refraktors am Punkt B ist und x_b in m die Entfernung zwischen B und S ist. Die Zeiten t_{SB} und $t_{BS'}$ können ebenfalls aus dem Seismogramm gewonnen werden. Es sind die Laufzeiten von Hin- und Rückschuss für den selben Beobachtungspunkt B .

Die Verzögerungszeit t_B in s ergibt sich aus

$$t_B = t_1 + t_2 - t_X = \frac{2d_b \cos(\theta_K)}{v_1}. \quad (33)$$

Durch einfache Umformung ergibt sich die Lottiefe d_b in m zu

$$d_b = t_B \cdot \frac{v_1}{2 \cos(\theta_K)}. \quad (34)$$

Nun wird in einem Diagramm erstellt, in dem die Lottiefe über der Entfernung des Beobachtungspunkts von S in m aufgetragen ist. Um B wird ein Kreis mit Radius d_B geschlagen, der dann den Refraktor tangiert. Dies wird für viele verschiedene Punkte B wiederholt und die resultierende Einhüllende stellt den Refraktor dar.
[5]

2.6 Technische Geräte

2.6.1 Geophon

Die Bodenschwinggeschwindigkeit wird von Geophonen aufgezeichnet. Geophone basieren auf der Methode der Induktion. Der grundlegende Aufbau eines Geophons besteht aus einem Permanentmagneten, der umgeben ist von einer Spule. Bewegt sich nun der Boden, in den das Geophone gesteckt ist, kommt es zu einer Relativbewegung zwischen Spule und Magneten. Durch diese Bewegung kommt es nach den Gesetzen der Elektrodynamik zu einer induzierten Spannung in der Spule, die dann registriert wird. Diese Spannung ist proportional zu der Bodenschwinggeschwindigkeit. [4, 5]

2.6.2 SISSY (Seismik Impuls Source SYstem)

SISSY ist eine Impulsquelle mit einer Gesamtlänge von 1.26 m, einem Durchmesser von 0,05 m und einem Gewicht von 10 kg, die besonders in dicht besiedeltem oder unwegsamem Gebiet als Alternative zur Hammerschlagseismik zum Einsatz kommt. Es kann eine Erkundungstiefe von bis zu 1000 m erreicht werden [3]. Bei der Messung, die in diesem Protokoll behandelt wird, wurde lediglich eine Verpuffung vorgenommen und keine Sprengung. Damit wurde die SISSY etwa 0.85 m in den Boden eingeführt, wo die Messung ausgelöst wurde. Dazu muss erst mit einem Bohrer ein Loch vorgebohrt werden. Um die Verpuffungsladung kurzzeitig vor Feuchtigkeit zu schützen, wird das untere Ende mit Klebeband abgedeckt.[7]

3 Versuchsaufbau und -durchführung

Es wurden drei Profile vermessen. Profil 1 verläuft quer über den Basaltgang zwischen den Profilkordinaten D1-D2. Profil 1 ist 45 m lang und die Geophonabstände sind wie in Tabelle 1 angegeben, gewählt worden. Die geringen Geo-

Tabelle 1: Geophonabstände bei Profil 1

Offset in m	Geophonabstand in m
0-5	0.5
5-15	1
15-30	0.5
30-40	1
40-45	0.5

phonabstände am Anfang und am Ende des Profils werden gewählt, damit die direkte Welle bei Hin- und Rückschuss besser sichtbar ist.

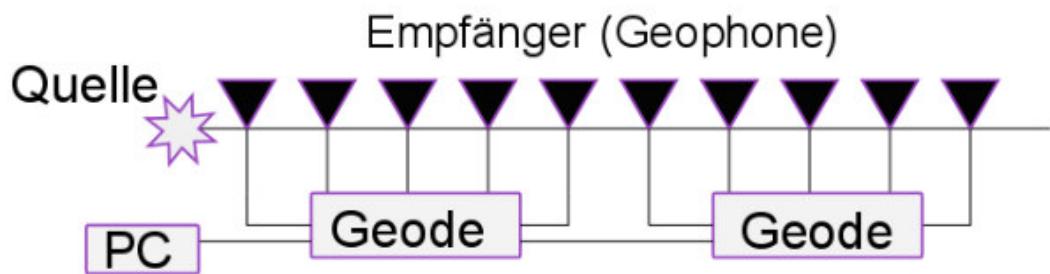
Das Profil 2 verläuft 23 m entlang des vermuteten Verlaufs des Basaltgangs zwischen den Punkten A1-A2. Dabei wird der konstante Geophonabstand von 0.5 m eingehalten.

Bei Profil 1 und 2 wird mit der Hammerschlagseismik gearbeitet, indem mit einem 4 kg schweren Vorschlaghammer an beiden Enden des Profils auf eine Metallplatte geschlagen wird. Die Metallplatte dient der besseren Anbindung an den Untergrund.

Das Profil 3 verläuft zwischen den Punkten S1 und S2 und ist in verwertbarer Form 140 m lang. Es wird der konstante Geophonabstand von 2 m gewählt. Die Messung wird mit SISSY, die 0.85 m tief in die Erde eingesteckt ist, durchgeführt. Um das Verpuffungsladung kurzzeitig vor Feuchtigkeit zu schützen wird das untere Ende von SISSY mit Klebeband abgeklebt. Entlang des Profils werden drei Schusspunkte gewählt, nämlich bei den Profilkordinaten 0 m, 73 m und 140 m.

Grundsätzlich ist die Messung so aufgebaut wie in Abbildung 7 zu sehen ist. Alle Geophone sind über Klemmen an ein Kabel angeschlossen, das wiederum an einer Geode angeschlossen ist. Insgesamt sind bei Profil 3 drei Geoden und bei Profil 2 zwei Geoden im Einsatz. Die Geoden untereinander sind ebenfalls durch ein Kabel verbunden, durch das die Daten von den einzelnen Geoden zu einem Laptop transportiert werden, an dem dann mit Hilfe einer Software das Seismogramm ausgegeben werden kann. Der Vorschlaghammer ist mit einem Trigger verbunden, der dafür sorgt, dass die Messung genau dann beginnt, wenn der Hammer auf die Platte trifft und so später eine präzise Auswertung möglich

Abbildung 7: Skizzenhafter Versuchsaufbau



ist.

Zum Schluss noch eine kurze Anmerkung zu einem systematischen Fehler, der während der Messung unterlaufen ist. Bei Profil 2 hat das letzte Geophon keine Informationen geliefert. Die Konsequenzen werden noch ausführlich in der Auswertung, Interpretation und Fehlerbetrachtung näher beleuchtet. Bei Profil 3 fehlen drei Geophone. Eigentlich ist das Profil 3 146 m lang, da aber sowohl für Hin- und Rückschuss nur für 140 m Daten vorhanden sind, wird im Folgenden das Problem betrachtet, als wäre dies das gesamte Profil. Aus Gründen, auf die in der Interpretation näher eingegangen wird, stellt dies jedoch kein Problem dar.

4 Auswertung

Die Messungen ergeben die Seismogramme, die im Anhang zu finden sind. Um das Laufzeitdiagramm zu erstellen, werden die Ersteinsätze markiert und über dem Offset geplottet. Die Endergebnisse in der Auswertung werden auf Zehnerstellen genau angegeben. Bei der Auswertung hat sich herausgestellt, dass bei Profil 3 und 2 nicht alle Geophone Daten geliefert haben. Daraus resultiert eine Ungenauigkeit, vor allem bei der Bestimmung der direkten Welle des Rückschusses von Profil 2. Um dies Auszugleichen werden noch die Geschwindigkeiten der direkten Welle von Profil 1 ermittelt und mit denen von Profil 2 verglichen. Bei der Auswertung wird mit Microsoft Excel 2016 und OriginPro 2016 gearbeitet.

4.1 Auswertung von Profil 1

Da es wie oben bereits erläutert für die Auswertung von Profil 2 notwendig ist auch Profil 1 zu betrachten, folgt nun die erforderliche Auswertung der direkten Welle. Eine detailliertere Auswertung findet sich im Anhang, wo ein Auszug aus dem Protokoll von Marius Sulzer und Hendrik Büker zu finden ist, das sie uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt haben. Zu dem Zeitpunkt, als die Auswertung dieser Messung vorgenommen wurde, standen die Daten von Profil 1 noch nicht zur Verfügung, weshalb die Geschwindigkeit der direkten Welle noch einmal bestimmt wurde.

Bei Profil 1 ergibt sich für den Hin- und Rückschuss die Laufzeitkurve in Abbildung 8. Die genauen Daten können den Tabellen 2 und 3 entnommen werden.

An dieser Stelle ist nur die Ausbreitungsgeschwindigkeit der direkten Welle für Hin- und Rückschuss von Bedeutung.

Für die direkte Welle des Hinschusses ergibt sich die Steigung $m_{dH} = 0.00532 \pm 3.402 \cdot 10^{-4} \frac{\text{s}}{\text{m}}$. Daraus ergibt sich die Geschwindigkeit der direkten Wellen zu

$$v_{1H} = \frac{1}{m_{dH}} \approx 190 \pm 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (35)$$

Beim Rückschuss ergibt sich für die Steigung der Ausgleichsgeraden für die direkte Welle die Steigung $m_{dR} = 4.591 \cdot 10^{-3} \pm 2.089 \cdot 10^{-4} \frac{\text{s}}{\text{m}}$. Das führt zu einer Geschwindigkeit von

$$v_{1R} = \frac{1}{m_{dR}} \approx 220 \pm 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (36)$$

Im Rahmen der Genauigkeit können die beiden Geschwindigkeiten als gleich angesehen werden. Fehler, die im angegebenen Fehlerintervall nicht eingeschlossen

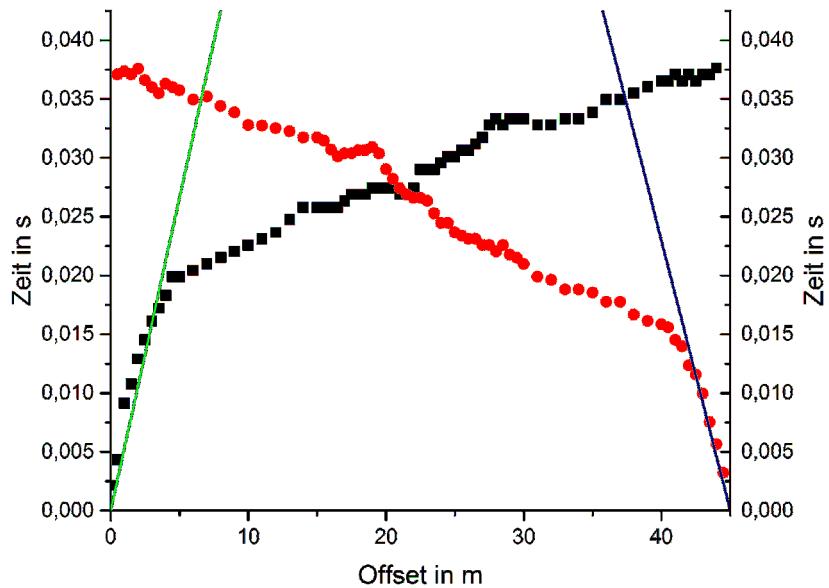


Abbildung 8: Laufzeitkurve von Profil 1. Die schwarzen Punkte geben dabei die Werte des Hinschusses an und die roten Punkte zeigen die Werte des Rückschusses, die grüne und die blaue Gerade zeigen die lineare Regression der direkten Welle von Hin- und Rückschuss

sind, auf die aber in der Fehlerbetrachtung näher eingegangen wird, könnten zu der Differenz führen.

4.2 Auswertung von Profil 2

Es ergibt sich das folgende Laufzeitdiagramm 9. Die genauen Daten können den Tabellen 5 und 4 in Anhang A entnommen werden.

Auf Grund des Verlaufs der Geradenabschnitte in Abbildung 9 wird eine Schicht und ein Halbraum darunter angenommen der wahrscheinlich den Basaltgang darstellt. Näheres dazu findet sich im Abschnitt Interpretation. Das Laufzeitdiagramm ist asymmetrisch, deshalb kann von einer geneigten Schichtgrenze ausgegangen werden.

Die grüne Gerade stellt die direkte Welle des Hinschuss dar. Eine mögliche Erklärung für die Asymmetrie mit dem Rückschuss findet sich in der Interpretation. Die grüne Gerade weist eine Steigung von $m_{dH} = 0.0047 \pm 7.134 \cdot 10^{-4} \frac{s}{m}$ auf und schneidet den Nullpunkt. Es ergibt sich eine Schichtgeschwindigkeit von

$$v_1 = \frac{1}{m_{dH}} = 210 \pm 30 \frac{m}{s}. \quad (37)$$

Im Gegensatz dazu weist die lila Gerade der direkten Welle des Rückschuss eine Steigung von $m_{dR} = 0.0018 \pm 6.273 \cdot 10^{-5} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ auf und es ergibt sich ein Schnittpunkt mit der y-Achse (Zeitachse) von $t_{i,dR} = 0.006 \pm 0.0014$ s. Dies führt zu einer Schichtgeschwindigkeit von

$$v_{1R} = \frac{1}{m_{dR}} = 550 \pm 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (38)$$

Die lila Gerade geht nicht durch den Ursprung, obwohl eigentlich zu erwarten war, dass dies die direkte Welle darstellt. Außerdem weisen die bei Profil 2 errechneten Geschwindigkeiten für den selben Geradenabschnitt eklatante Unterschiede auf, weshalb nach einem Vergleich mit der errechneten Geschwindigkeit in Profil 1 für die direkte Welle mit der Geschwindigkeit $v_1 = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ weiter gerechnet wird.

Die rote Gerade für den Hinschuss des Halbraums in Abbildung 9 weist eine Steigung von $m_H = 9.107 \cdot 10^{-4} \pm 2.009 \cdot 10^{-5} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ auf und aus dem Schnittpunkt mit der y-Achse ergibt sich folgende Interceptzeit von $t_{iH} = 0.00574 \pm 2.778 \cdot 10^{-4}$ s. Anhand dieser Informationen lässt sich eine scheinbare Schichtgeschwindigkeit des Basaltgangs von

$$v_{2H} = \frac{1}{m_H} \approx 1100 \pm 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (39)$$

errechnen. Für den Rückschuss ergibt die Steigung der blauen Gerade einen Wert von $m_R = 8.143 \cdot 10^{-4} \pm 2.138 \cdot 10^{-5} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ und eine Interceptzeit von $t_{iR} = 0.0085 \pm 2.945 \cdot 10^{-4}$ s. Damit ergibt der Rückschuss die scheinbare Schichtgeschwindigkeit

$$v_{2R} = \frac{1}{m_R} \approx 1230 \pm 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (40)$$

Nach Gleichung (21) ergibt sich die tatsächliche Geschwindigkeit $v_{2,tat} \approx 1140 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Die Schichtneigung kann anhand von Gleichung (26) berechnet werden und ergibt sich mit $v_{2H} = v_{2F}$ zu $\phi = 0.56^\circ$. Analog zu Gleichung (25) kann der kritische Winkel berechnet werden, unter dem die Welle einfallen muss, damit sich eine refraktierte Welle ergibt. Dieser Winkel θ_K ergibt sich zu $\theta_K = 9.92^\circ$. Mit den bis jetzt bekannten Größen können nun auch mit den Gleichungen (27) und (28) d und d' berechnet werden. Dabei gilt $v_{2S} = v_{2R}$. Es ergibt sich $d = 0.58\text{m}$ und $d' = 0.87\text{m}$. Mit Gleichung (29) kann der Wert für d kontrolliert werden und nach dieser Formel ergibt sich $d = 0.64\text{ m}$. Das entspricht nicht genau der errechneten Schichttiefe, passt aber im Rahmen der Genauigkeit.

Mit diesen bekannten Größen soll nun das Verfahren der Verzögerungszeiten analog zu dem entsprechenden Abschnitt in der Theorie durchgeführt werden um

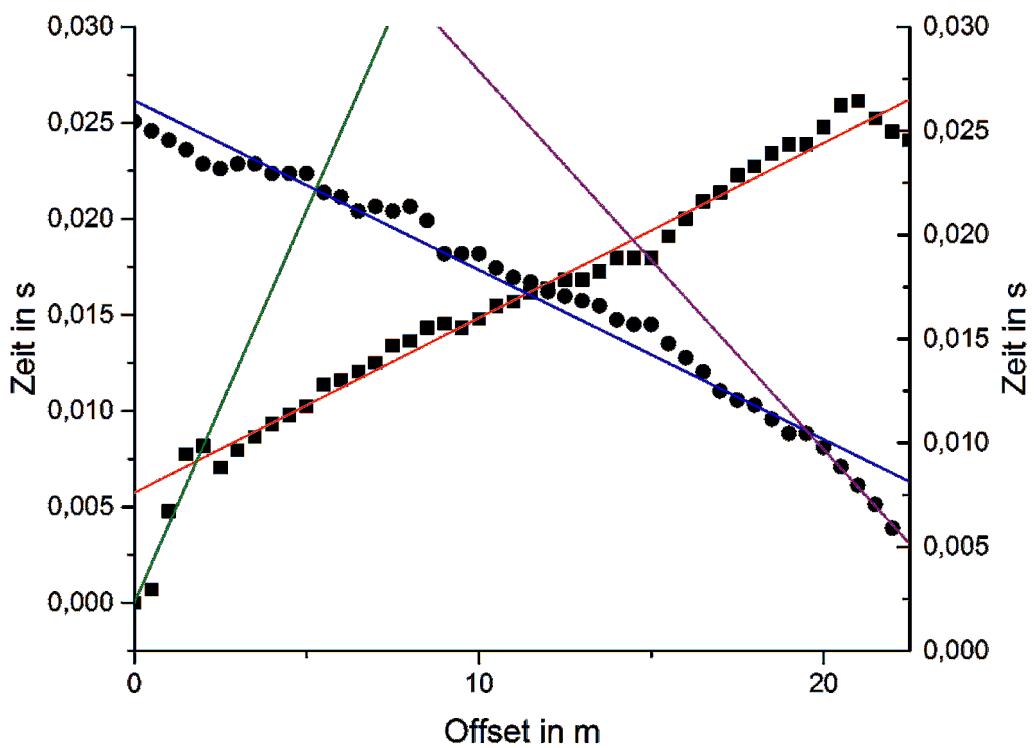


Abbildung 9: Laufzeitkurve von Profil 2. Die quadratischen Punkte geben dabei die Werte des Hinschusses an und die runden Punkte zeigen die Werte des Rückschusses, die rote und die blaue Gerade zeigen die lineare Regression des Halbraums und die grüne und die lila Gerade zeigen die lineare Regression der direkten Welle

die Topographie des Basaltgangs zu ermitteln. Mit $X = 23\text{ m}$ und den oben genannten Werten ergibt sich mit Gleichung (30) $t_X = 0.02694\text{ s}$. t_{SB} und $t_{BS'}$ können den Tabellen 4 und 5 aus dem Anhang entnommen werden. Es sind genau die Laufzeiten von Hin- und Rückschuss für den selben Beobachtungspunkt B . Mit Gleichung (33) kann nun t_b berechnet werden. Das Ergebnis dieser Berechnung für alle Beobachtungspunkte kann in Tabelle 6 gefunden werden. Ebenfalls finden sich in dieser Tabelle die Lottiefen d_b , die anhand von Gleichung (34) berechnet werden können. Beim Anwenden des Verfahrens muss darauf geachtet werden, dass die ersten fünf Geophone und die letzten vier Geophone nicht mit einfließen dürfen. Grund dafür ist, dass die Ersteinsätze an diesen Geophonen entweder beim Hin- oder beim Rückschuss von der direkten Welle gebildet werden. Das Ergebnis der Methode der Verzögerungszeiten kann ebenfalls im Anhang gefunden werden.

Durch eine Grabung am Messort in einer Tiefe bis zu einem halben Meter konnte ein Handstück gewonnen werden. Mit Hilfe des Archimedischen Prinzips wurde die Dichte dieses Handstücks ermittelt, die sich auf $\rho_{\text{gemessen}} = 2960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ beläuft.

4.3 Auswertung von Profil 3

Die genauen Daten der Messung entlang von Profil 3 können den Tabellen 6, 7 und 8 entnommen werden. Die vermeintlichen direkten Wellen von Profil 3 nicht ausgewertet. Der Grund wird in der Interpretation näher erläutert.

An dieser Stelle soll der Hinschuss des Profils 3 betrachtet werden. Die blaue Ausgleichsgerade zeigt den Halbraum unterhalb der ersten Schicht und weist eine Steigung von $m_{H,2} = 4.526 \cdot 10^{-4} \pm 5.147 \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ und eine Interceptzeit von $t_{i,H} = 0.0197 \pm 4.405\text{ s}$ auf. Daraus ergibt sich eine Geschwindigkeit für den Halbraum von

$$v_{2H} = \frac{1}{m_{H,2}} \approx 2210 \pm 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (41)$$

Für den Mittelschuss ergibt sich Abbildung 11. Der Halbraum unterhalb der ersten Schicht wird im Folgenden analysiert. Die Steigung der lila Geraden rechts des Nullpunktes weist eine Steigung von $m_{M,2R} = 4.466 \cdot 10^{-4} \pm 1.742 \cdot 10^{-5} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ auf und hat eine Interceptzeit von $t_{i,l} = 0.02929 \pm 7.175\text{ s}$. Damit ergibt sich eine Schichtgeschwindigkeit von

$$v_{2r} = \frac{1}{m_{M,2R}} \approx 2240 \pm 90 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (42)$$

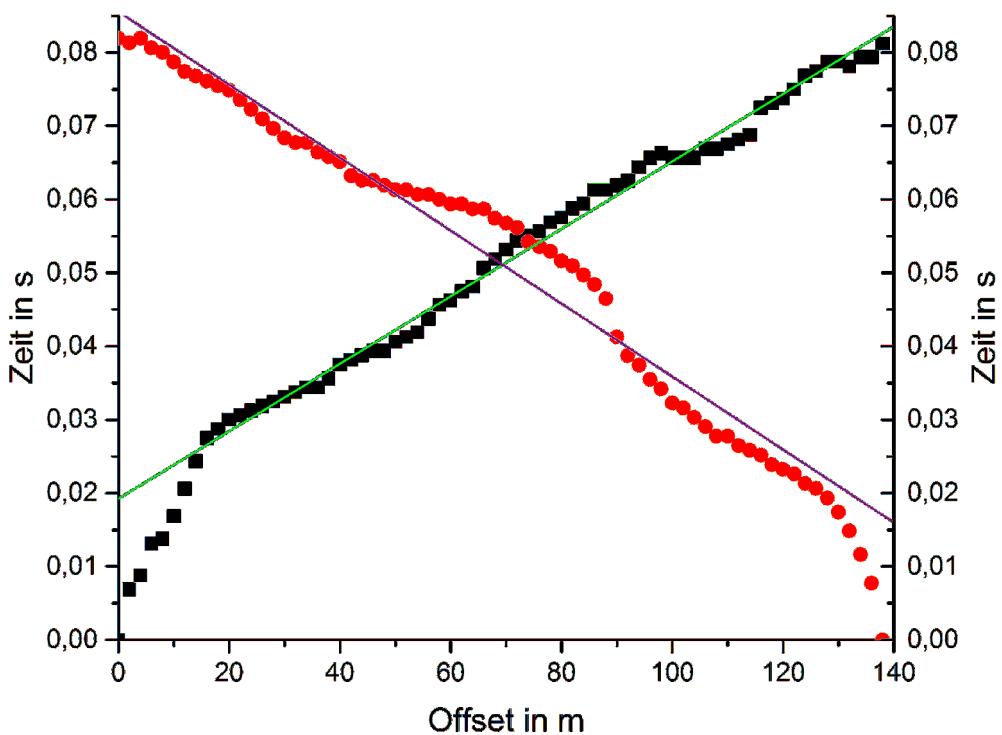


Abbildung 10: Laufzeitkurve von Profil 3. Die schwarzen Punkte zeigen den Hinschuss und die roten Punkte zeigen den Rückschuss. Die grüne und lila Linie sind die Ausgleichsgeraden des Halbraums von Hin- und Rückschuss

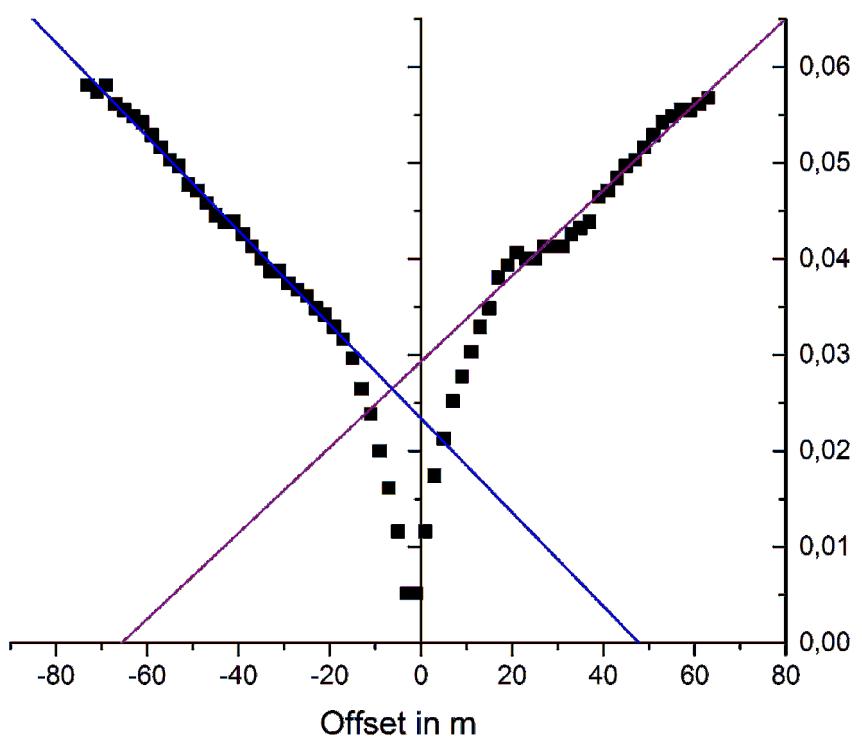


Abbildung 11: Laufzeitkurve des Mittelschuss von Profil 3. Die quadratischen Punkte zeigen die Messpunkte, die blaue Gerade zeigt die lineare Regression links des Schusspunkts des Halbraums und die lila Gerade zeigen die lineare Regression des Halbraums rechts des Schusspunkts

Die Steigung der blauen Ausgleichsgerade des Halbraums auf der linken Seite hat die Steigung $m_{M,2L} = 4.891 \cdot 10^{-4} \pm 6.13 \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ und eine Interceptzeit von $t_{i,r} = 0.0234 \pm 2.943 \cdot 10^{-4}$ s. Dies führt zu einer Schichtgeschwindigkeit von

$$v_{2l} = \frac{1}{m_{M,2L}} \approx 2040 \pm 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (43)$$

Beim Rückschuss beträgt die Steigung der lila Ausgleichsgeraden durch den Halbraum $m_{R,2} = 4.97 \cdot 10^{-4} \pm 1.121 \cdot 10^{-5} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ und es ergibt sich eine Interceptzeit von $t_{iR} = 0.155 \pm 8.51 \cdot 10^{-4}$ s. Dies führt zu einer Geschwindigkeit im Halbraum von

$$v_{2R} = \frac{1}{m_{R,2}} \approx 2010 \pm 80 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (44)$$

Es wird deutlich, dass die Geschwindigkeiten des Halbraums zwar sehr ähnlich sind, aber trotzdem unterschiedlich genug um zwei verschiedene Modelle anzunehmen. Zum einen kann auch wieder von einer geneigten Schicht ausgegangen werden. Nach Gleichung (25) ergibt sich der kritische Winkel $\theta_K = 5.45^\circ$ und nach Gleichung (26) ergibt sich die Schichtneigung zu $\phi = 0.3^\circ$. Aus diesen Werten lässt sich anhand von Gleichung (21) die tatsächliche Geschwindigkeit $v_{tat} \approx 2100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bestimmen. Dieser Wert lässt sich auch mit der Kontrollgleichung (22) bestätigen. In einem nächsten Schritt können noch die Schichtdicken d und d' nach den Gleichungen (28) und (27) berechnet werden. Es ergibt sich $d' = 1.98$ m und $d = 1.56$ m. Mit der Kontrollgleichung (29) ergibt sich ein leicht anderer Wert für die Dicke d von $d = 1.35$ m.

Zum anderen kann auch der Fall einer söhligen Lagerung des Untergrundes angenommen werden. Mit dem selben $v_1 = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und dem Mittelwert $\bar{v}_2 = 2125 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ aus v_{2H} , v_{2l} , v_{2r} und v_{2R} sowie dem Mittelwert aus den Interceptzeiten $\bar{t}_i = 0.018$ s aus t_{iH} und t_{iR} kann nach Gleichung (11) die Schichtdicke d in m berechnet werden. Es ergibt sich $d = 1.77$ m. Der kritische Winkel ergibt sich nach der Gleichung (5) zu $\theta_K = 5.4^\circ$.

5 Interpretation

5.1 Interpretation von Profil 2

Nun werden die Ergebnisse, die bei der Auswertung von Profil 2 bzw. 1 gewonnen wurden, interpretiert. Das Laufzeitdiagramm kann so interpretiert werden, dass eine Schicht und ein unterliegender Halbraum zu sehen sind. Da aus den vorherigen Messungen das Profil 2 bereits so gewählt wurde, dass das Profil auf dem Basaltgang verläuft, kann davon ausgegangen werden, dass die erste Schicht eine dünne Decke aus Erde darstellt und darunter der Basaltgang kommt. Dass die obere Schicht aus Erde besteht, konnte auch die Grabung bis in eine Tiefe von etwa einem halben Meter verifizieren. Möglicherweise reichte der Hammerschlag von der Intensität nicht aus um die Unterkante des Basaltgangs zu erreichen. Laut dem Bericht von Schreiner (1983) gibt es Hinweise auf eine Tiefe der Intrusion von 200 m [10]. Diese Tiefe kann mit der Hammerschlagseismik wahrscheinlich nicht erreicht werden, was erklärt warum keine Unterkante zu sehen ist. Eventuell könnte der Grund warum keine Unterkante zu sehen ist sein, dass $v_3 < v_2$ ist. Insgesamt ist das Laufzeitdiagramm asymmetrisch, was auf eine geneigte Schichtgrenze hindeutet. Problematisch bei der Auswertung der direkten Welle ist, dass die Ausgleichsgerade beim Rückschuss nicht durch den Ursprung geht. Grund dafür ist möglicherweise, dass das letzte Geophon beim Hinschuss bzw. das erste Geophon beim Rückschuss fehlt. Um die Geschwindigkeit zu überprüfen, die durch die direkte Welle des Hinschusses bestimmt worden ist, wurde noch die Geschwindigkeit der direkten Welle des Profil 1 hinzugezogen. Zwar hat das Profil 1 das Problem, dass der Untergrund entlang des Profils nicht homogen ist, jedoch ist die Quelle weit genug von der offensichtlichen Inhomogenität des Basaltgangs entfernt, dass die direkte Welle nicht beeinflusst wird. Beim Vergleich der Geschwindigkeiten der direkten Welle beider Profile wird deutlich, dass die Geschwindigkeiten sehr nahe bei einander liegen. Im Endeffekt wurde dann von einer Geschwindigkeit von $v_1 = 200 \frac{m}{s}$ ausgegangen. Dies ist ein Wert, der allen drei Werten der direkten Welle des Messgebiets gerecht wird.

Die tatsächliche Geschwindigkeit des Halbraums $v_{2,tat} \approx 1140 \frac{m}{s}$ liegt deutlich unter dem Wert der Literatur. In der Literatur wird die Dichte von Basalt mit $\rho_{Lit} = 2700 - 3100 \frac{kg}{m^3}$ angegeben und eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von $v_{P,Lit} = 5000 - 6000 \frac{m}{s}$ [8]. Die Dichte die anhand einer Gesteinsprobe ermittelt wurde, passt jedoch zu Basalt. Die Geschwindigkeitsdifferenz von $\Delta v \approx 4000 \frac{m}{s}$ ist allerdings nicht vernachlässigbar und deutet möglicherweise darauf hin, dass bei der Messung oder Auswertung Fehler passiert sind. Eventuell kommt diese

große Abweichung auch von den Annahmen, die für den Literaturwert getroffen wurden. Möglicherweise wurde eine größere Tiefe mit einem größeren Druck angenommen, was auch Auswirkungen auf die Geschwindigkeit hat.

Die Berechnungen in der Auswertung ergaben, dass der Basaltgang am südlichen Ende des Profils tiefer liegt als am nördlichen Ende. Das Ergebnis in der Magnetik deutet allerdings auf etwas anderes hin. Die Änderung der Totalintensität am Profil D (Profil D ist äquivalent zum Profil 1 der Seismik), das das Profil 2 etwa in der Mitte schneidet, ist deutlich größer als am Profil B, das das Profil 2 etwa am Anfangspunkt schneidet. Dies deutet darauf hin, dass der Basaltgang beim Schnittpunkt mit Profil D höher liegt als am Anfangspunkt. Möglicherweise ist das ein Hinweis darauf, dass der Basaltgang unterhalb von Profil B noch einmal deutlich an Tiefe gewinnt. Dieser Trend zeigt sich jedoch bei den im Zuge des Verfahrens der Verzögerungszeiten erstellten Lottiefen nicht. Insgesamt liegt der Basaltgang relativ nahe unter der Erdoberfläche. Dass der Basaltgang oberflächennah zu finden ist, hat auch die in der Auswertung bereits genannte Probegrabung ergeben.

Die Laufzeitkurve in Abbildung 9 weicht im Abschnitt für den Basaltgang teilweise stark von der idealen Ausgleichsgerade ab. Es wurde das Verfahren der Verzögerungszeiten angewendet um den Verlauf der Topographie auf dem Basaltgang zu bestimmen. Die Methode der Verzögerungszeiten zeigt, dass der Basaltgang an seiner Oberfläche eine Topographie aufweist, diese jedoch nicht besonders ausgeprägt ist. Es zeigt sich deutlich die zunehmende Tiefe Richtung Süden. Am nördlichen Ende des Profils gewinnt der Basaltgang schnell an Tiefe bis etwa zur Profilkordinate 8, danach nimmt die Tiefe nur langsam weiter zu. Bei der letzten verwendeten Profilkordinate bei 20 m befindet sich der Refraktor in 0.77 m Tiefe. Zwischen den Profilkordinaten 11 m und 16 m zeigt der Refraktor eine leichte Wellenform. Auf diesem Abschnitt ist die Tiefe etwa konstant und nimmt erst ab Profilkordinate 16 m wieder zu. Es wird auch deutlich, dass die Lottiefe bei Profilkordinate 8 die umliegenden Lottiefen dominiert und durch die große Tiefe einen großen Einfluss auf die resultierende Einhüllende hat, welche dann den Verlauf der Topographie bildet. Auf Grund dieser starken Ausprägung wirkt es als habe der Basaltgang dort eine große Mulde. Nach dieser Mulde scheint der Basaltgang noch einmal an Höhe zu gewinnen, bevor er dann wieder absinkt. Diese Mulde überdeckt aber die umliegenden Punkte, da deren Lottiefen deutlich geringer sind. Erwartet wurde, dass bei einer Mulde die Lottiefen der umliegenden Punkte in der Nähe oder auf dem Kreis mit dem Radius der größten Tiefe um die entsprechende Profilkordinate liegen. Dies ist nicht der Fall. Es wirkt

als wäre der Wert bei Profilkoordinate 8 fehlerhaft. Möglicherweise befindet sich bei Profilkoordinate 8 aber auch eine kleinräumige Vertiefung, wie eine Spalte oder ähnliches und das Verfahren der Verzögerungszeiten kann an diesem Punkt eigentlich nicht angewendet werden, weil die Tief zu sprunghaft zu- und dann wieder abnimmt. Es wirkt nun als wäre die Vertiefung bei Profilkoordinate 8 eine großräumige Struktur.

5.2 Interpretation von Profil 3

Im folgenden werden nun die Ergebnisse, die in der Auswertung von Profil 3 gewonnen wurden, interpretiert. Zunächst soll die Ausbreitungsgeschwindigkeit der direkten Welle betrachtet werden. Was die Messung des Profils 3 von der Messung der anderen beiden unterscheidet ist, dass hier die seismische Anregung durch eine Verpuffung und nicht durch einen Hammerschlag zustande kam. Das bedeutet, dass die Quelle nicht an der Oberfläche liegt, sondern sich in einer Tiefe von 0.85 m befindet. Dies wiederum hat zur Folge, dass die Welle, die normalerweise als direkte Welle bezeichnet wird, eigentlich nicht direkt ist. Das ist auch der Grund warum es keinen großen Einfluss hat, dass die drei Geophone fehlen. Die Geophone wären Teil der angeblichen direkten Welle. Da diese nicht ausgewertet wird, kommt es auch nicht zu einem Informationsverlust. Um tatsächlich an der Oberfläche verlaufen zu können, muss die Welle zunächst die Distanz von dem Schusspunkt in der Erde zur Oberfläche zurücklegen. Da dieser Verlauf jedoch nicht genau bekannt ist, bzw. gar nicht genau eingeschätzt werden kann welche Wellen hier den Ersteinsatz bilden, können auch die in der Theorie eingeführten Formeln nicht zur Auswertung herangezogen werden. Es wird daher angenommen, dass die obere Schicht ähnlich ist zu der oberen Schicht, die bei Profil 2 bzw. 1 registriert wurde. Daher kann auch hier von einer oberen Schichtgeschwindigkeit von $v_1 = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ausgegangen werden.

Insgesamt kann aus dem Laufzeitdiagramm geschlossen werden, dass der Untergrund bis zu der Tiefe, die mit der Messung erkundet werden konnte, aus einer Schicht und einem darunter liegenden Halbraum besteht. Die Geschwindigkeiten, die in der Auswertung für den Halbraum bestimmt wurden, sind zwar unterschiedlich, aber doch relativ ähnlich. Deshalb wurde die Rechnung sowohl für den Fall einer geneigte Schicht vorgenommen sowie auch für den Fall, dass eine sölige Lagerung vorliegt. Dass diese Überlegung gerechtfertigt ist, wird deutlich, wenn die aus den Berechnungen in der Auswertung resultierenden Schichtneigung betrachtet wird, die lediglich $\phi = 0.3^\circ$ beträgt. Daraus resultiert auch lediglich einen Tiefendifferenz von einem halben Meter über eine Distanz

von 140 m Profillänge. Am östlichen Ende ist die Schichtdicke der oberen Schicht geringer als am westlichen Ende. Wenig überraschend resultiert als Tiefe für die söhlige Lagerung der Mittelwert aus beiden Tiefen bei der geneigten Schichtgrenze. Es ist schwer zu beurteilen welcher Fall hier tatsächlich zutrifft, da das Profil vor allem auch von Topographie geprägt ist, was, wie in der Fehlerbetrachtung näher erläutert, eine Fehlerquelle ist. Möglicherweise könnte eine eindeutige Aussage getroffen werden, wenn alle Geophone zur Verfügung stehen würde. Es sind die letzten drei Geophone die fehlen, somit würde sich beim Hinschuss wahrscheinlich einfach die Ausgleichsgerade des Halbraums verlängern. Beim Rückschuss würden mehr Punkte zur angeblichen direkten Welle hinzukommen, was möglicherweise die Asymmetrie des Laufzeitdiagramms beheben könnte. Dann wäre das Modell der söhligen Lagerung zu bevorzugen.

Wie der geologischen Karte [?] entnommen werden kann, befindet sich an dem Messstandort Geschiebemergel im Untergrund. Sowohl die tatsächliche Geschwindigkeit $v_{2,tat} \approx 2100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ also auch der Mittelwert $\bar{v}_2 = 2125 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ passen zu der Geschwindigkeit von Mergel [?]. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Mergel beginnt bei etwa $2000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Wasser liegt bei circa $1400 - 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ [?]. Da es die Tage vor der Messung teilweise stark geregnet hat, könnte es sein, dass der Grundwasserspiegel relativ nahe an der Oberfläche liegt. Die tatsächliche Geschwindigkeit in einem Material setzt sich zusammen aus den Ausbreitungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Komponenten. Die Geschwindigkeit der in der Messung bestimmten Geschwindigkeit liegt zwar höher, aber eine Sättigung der Schicht mit Wasser ist nicht auszuschließen.

6 Fehlerbetrachtung

Zunächst soll kurz erläutert werden, wie in der Auswertung die Fehler auf die Geschwindigkeiten zustande gekommen sind. Dabei wurde die Gaussche Fehlerfortpflanzung angewendet. Der Fehler auf eine Funktion $f(x, y)$ mit den fehlerbehafteten Größen x und y beträgt

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x} \cdot \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y} \cdot \Delta y\right)^2}, \quad (45)$$

wobei Δx und Δy die Fehler auf die Größen x und y sind [9]. Angewendet auf Gleichung (7) ergibt sich für den Fehler auf die Geschwindigkeit

$$\Delta v = \frac{\Delta m}{m^2}. \quad (46)$$

Dabei muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass in das Fehlerintervall nur der Fehler aus der Geradensteigung eingeflossen ist und nur zur groben Orientierung dient. Andere Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Ablesegenauigkeit sind in diesem Fehler nicht enthalten.

Nun soll eine qualitative Fehlerbetrachtung weiterer Fehler während der Messung und der Auswertung durchgeführt werden.

Es gibt verschiedene Fehlerquellen bei einer Messung, die nie komplett eliminiert werden können.

Zum einen gibt es Störsignale aus der Umgebung, wie beispielsweise Wind, Bäume, Fußgänger oder Fahrzeuge. Bei diesem Versuch wurde darauf geachtet, dass während der Messung keine Fußgänger an der Messanordnung vorbei gelaufen oder Fahrzeuge vorbei gefahren sind. Allerdings fand die Messung auf einer Obstwiese statt, auf der auch entlang des Profils mehrere Bäume stehen und am Messtag wehte ein leichter Wind. Der Wind versetzt Bäume in leichte Schwingungen, die von den Wurzeln in den Boden übertragen werden. Dadurch ergibt sich ein Störsignal. Ein Foto, auf dem auch die Vegetation des Messgebiets zu erkennen ist, findet sich im Anhang.

Eine weitere große mögliche Fehlerquelle ist der "Faktor Mensch". Besonders bei der Hammerschlagseismik besteht das Potential für Fehler. Jeder Mensch schlägt unterschiedlich stark auf die Platte und speist dadurch unterschiedlich viel Energie in den Boden ein. Allerdings war dies wohl bei den kurzen Profillängen kein Problem. Außerdem spielt die Technik mit der Hammer auf die Platte gehauen wird eine große Rolle, denn die besten Ergebnisse liefert ein Schlag direkt in die

Mitte der Platte. Im Idealfall sollte die Platte oder der Hammer möglichst nicht noch einmal vom Boden hüpfen und zurück auf den Boden fallen, denn sonst ergibt sich noch ein zweites unerwünschtes Signal. Ein weiterer Fehler ergibt sich daraus, dass die Geophone nicht exakt auf die Profilkoordinaten gesteckt werden können. Dieser Fehler jedoch erstreckt sich über das komplette Profil, so dass sich der Fehler heraus mittelt. Außerdem ist die Seismik von Haus aus mit relativ großen Fehlern auf die Geschwindigkeit behaftet, so dass der Fehler durch das falsche Stecken der Geophone vernachlässigbar ist. Alle bisher genannten Fehler waren zufällige Fehler.

Auch statistische Fehler können die Messung verfälschen. Eine schlechte Anbindung der Geophone an den Boden beispielsweise. Ein Fehler, der während der Messung aufgetreten ist, ist, dass bei der Messung von Profil 2 das letzte Geophone fehlt. Dies führt dazu, dass auf dem Rückschuss keine direkte Welle zu sehen ist. Beim Profil 3 fehlen die letzten drei Geophone. Bei Profil 3 scheint das Fehlen der drei Geophone wie in der Interpretation bereits näher erläutert, keinen großen Einfluss auf die Ergebnisse der Messung zu haben. Eine weitere Fehlerquelle ist, wenn das Messprofil starke Topographie aufweist. Profil 2 ist relativ eben, fällt allerdings nach Süden hin leicht ab. Profil 3 weist deutlich stärkere Topographie auf. Topographie auf der Oberfläche führt, analog zur Erläuterung beim Prinzip der Verzögerungszeiten, wo die Topographie auf dem Basaltgang vorkommt, zu einer Änderung der Laufzeiten. Die Topographie wird in der Auswertung nicht weiter betrachtet, aber es sollte im Auge behalten werden, dass die tatsächliche Schichttiefe noch variieren kann.

Eine weitere Fehlerquelle entsteht bei der Erstellung und Auswertung der Laufzeitdiagramme. Beim Picken der Ersteinsätze aus dem Diagramm wurde mit Bleistift und Lineal gearbeitet. Durch die Dicke des Bleistiftes, dem ungenauen menschlichen Augenmaß und dem ungenauen Ablesen am Lineal kann ein Fehler von $\pm 1\text{mm}$ angenommen werden. Das führt zu einer Zeitdifferenz je nach Seismogrammskala von $\Delta t = 6.45 \cdot 10^{-4}\text{s}$ bzw. $\Delta t = 5.26 \cdot 10^{-4}\text{s}$. Es wurde zur Auswertung das Programm Origin Pro 2016 verwendet. Mit Hilfe dieses Programms wurden die Laufzeitdiagramme erstellt und die Ausgleichsgeraden durch die einzelnen Abschnitte gelegt. Das Programm kann zwar Ausgleichsgeraden mit einem geringen Fehler liefern, jedoch nicht vollkommen fehlerfrei. Um zu demonstrieren wie sich eine Änderung der Steigung der Ausgleichsgerade auf die errechneten Geschwindigkeiten auswirkt, wurde das Laufzeitdiagramm des Hinschusses von Profil 2 von Hand auf Millimeterpapier gezeichnet und nach Augenmaß wurden mehrere mögliche Ausgleichsgeraden eingezeichnet. Das entsprechende Dokument

ment kann im Anhang gefunden werden. Es zeigt sich dabei, dass eine Änderung der Steigung von 11.65 % die ermittelte Geschwindigkeit um $34 \frac{m}{s}$ ändert. Die genaue Rechnung findet sich in handschriftlicher Form in Anhang C.

Beim Anwenden des Verfahren der Verzögerungszeiten zur Bestimmung der Topographie des Basaltgangs sind ebenfalls einige Ungenauigkeiten aufgetreten. Zum einen ist natürlich die Zeichengenauigkeit beschränkt. Zwar kann auf Millimeterpapier millimetergenau gezeichnet werden, aber es kann keine bessere Genauigkeit erreicht werden. Zum anderen besitzen sowohl Bleistift als auch Zirkel eine gewisse Minendicke, die zu weiteren Ungenauigkeiten führt. Ebenfalls soll erwähnt werden, dass das präzise Zeichnen vor allem bei sehr geringen Radien schwierig ist und der Zirkel sich nicht unendlich genau einstellen lässt. Aus diesen Ungenauigkeiten resultieren Fehler der Schichttiefe im Zentimeterbereich. Eine Auffälligkeit am Ergebnis des Verfahrens ist Profilkordinate 8, bei der eine große Tiefe auftritt. Diese Tiefe führt dazu, dass es wirkt als wäre an dieser Stelle eine Mulde.

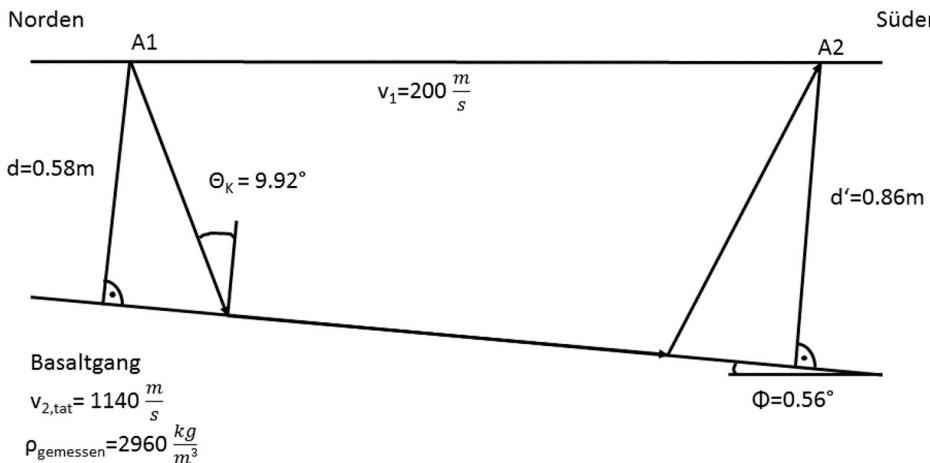


Abbildung 12: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zu dem Profil 2

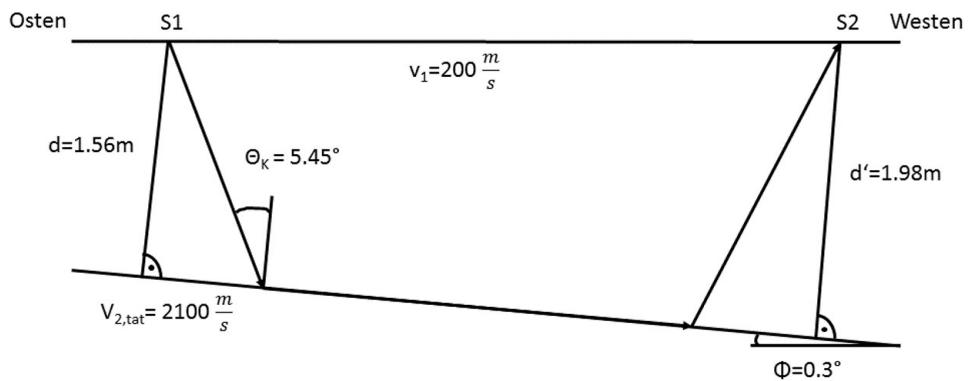


Abbildung 13: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zu dem Profil 3 im Fall einer geneigten Schichtgrenze

7 Zusammenfassung

In diesem Protokoll wurden die Profile 2 und 3 analysiert und die Analyse von Profil 1 wurde von Marius Sulzer und Hendrik Büker zur Verfügung gestellt. Profil 2 verläuft entlang des vermuteten Verlaufs des Basaltgangs und es wurde der Untergrund anhand des Laufzeitdiagramms untersucht sowie das Verfahren der Verzögerungszeiten angewendet um die Topographie des Basaltgangs erfassen zu können. Die wichtigsten Ergebnisse der Auswertung von Profil 2 können Abbildung (12) entnommen werden. Es wurde von einer Schicht und einem darunterliegenden Halbraum ausgegangen, der den Basaltgang darstellt. Die Schichtgrenze fällt in südliche Richtung ab mit einem Neigungswinkel von $\phi = 0.56^\circ$ woraus sich die zwei Schichtdicken $d = 0.58 \text{ m}$ und $d' = 0.86 \text{ m}$ ergeben. Der kritische Winkel ergibt sich zu $\theta_K = 9.92^\circ$. Die Geschwindigkeit der ersten Schicht wurde aus

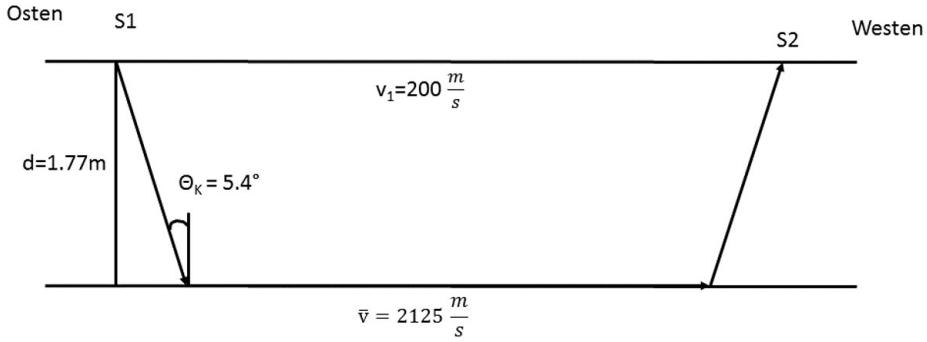


Abbildung 14: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zu dem Profil 3 im Fall einer söhligen Lagerung

einem Vergleich der direkten Welle des Hinschusses von Profil 2 und der direkten Welle des Hin- und Rückschusses von Profil 1 gewonnen, da auf Grund fehlender Geophondaten die direkte Welle des Rückschusses von Profil 2 nicht analysierbar war. Es ergibt sich $v_1 = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Für den darunterliegenden Halbraum, dem Basaltgang, ergibt sich die tatsächliche Geschwindigkeit $v_{2,tat} \approx 1140 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Durch eine Grabung konnte eine Gesteinsprobe entnommen werden, die von der Dichte her Basalt ist und daher die Theorie stützt, dass der unterliegende Halbraum der Basaltgang ist, obwohl $v_{2,tat}$ eklatant von den Literaturwerten für die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Basalt abweicht. Das Verfahren der Verzögerungszeiten zeigt ebenfalls ein Abfallen der Schichttiefe nach Süden hin. Zu Beginn des Profils sinkt der Basaltgang schnell ab, stagniert dann über einige Profilmeter hinweg und sinkt dann weiter. Insgesamt zeigt sich nur eine leichte Topographie auf dem Basaltgang. Eine Auffälligkeit gab es bei Profilkordinate 8, die eine deutlich größere Lottiefe ausweist, als die umliegenden Beobachtungspunkte. Das könnte an einer kleinräumigen Vertiefung des Basaltgangs liegen, die durch Zufall mit dem Beobachtungspunkt getroffen wurde und dazu führt, dass das Verfahren an dieser Stelle kein sinnvolles Ergebnis liefert. Insgesamt konnte die Fragestellung nach der Topographie nicht eindeutig beantwortet werden und auch der Tiefenverlauf wirft im Hinblick auf das Ergebnis der Magnetik noch einige Fragen auf, die noch in weiteren Untersuchungen beantwortet werden könnten.

Bei Profil 3 musste davon ausgegangen werden, dass die Geschwindigkeit der ersten Schicht mit der Geschwindigkeit der ersten Schicht bei Profil 2 übereinstimmt, da mit Hilfe von SISSY gemessen wurde, wodurch die Quelle nicht an der Erdoberfläche saß und die im Laufzeitdiagramm auftretende angebliche direkte Welle nicht als solche ausgewertet werden kann. Also gilt auch hier $v_1 = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Weiterhin gibt es zwei mögliche Modellvorstellungen für die Schichtneigung. Abbildung

13 zeigt den Fall, dass die Schichtgrenze zwischen erster Schicht und Halbraum geneigt ist. Es ergibt sich die tatsächliche Geschwindigkeit $v_2 \approx 2100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Von Osten nach Westen sinkt die Schichtgrenze ab von einer Schichtdicke $d = 1.56 \text{ m}$ auf eine Schichtdicke von $d' = 1.98 \text{ m}$. Der kritische Winkel beträgt in diesem Fall $\theta_K = 5.45^\circ$. Weil die Schichtneigung sich nur zu $\phi = 0.3^\circ$ ergibt, ist es legitim auch den Fall einer söhlichen Lagerung zu betrachten. Für den kritischen Winkel ergibt sich nun $\theta_K = 5.4^\circ$ und eine Schichtdicke von $d = 1.77 \text{ m}$, was genau dem Mittelwert der Schichtdicken des Falls einer geneigten Schichtgrenze entspricht. Für die mittlere Geschwindigkeit im Halbraum ergibt sich $\bar{v}_2 = 2125 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Sowohl die errechnete tatsächliche Geschwindigkeit bei der geneigten Schichtgrenze als auch die mittlere Geschwindigkeit bei der söhlichen Lagerung passen zu der Schichtgeschwindigkeit mit Mergel. Eventuell ist im Mergel auch Wasser zu finden. Dies deckt sich mit der Aussage der geologischen Übersicht. Damit konnte die Zielsetzung bei der Analyse von Profil 3 nicht eindeutig beantwortet werden. Eventuell hätte eine Messung mit allen Geophonen eine eindeutige Antwort zugelassen. Eine Skizze des Untergrunds unterhalb von Profil 1 findet sich im Anhang.

Profil 1 zeigt, dass der Untergrund um den Basaltgang herum aus drei Schichten über dem Halbraum bestehen könnte. Dabei werden die Schichtgrenzen als geneigt angenommen. Es ergeben sich die tatsächlichen Schichtgeschwindigkeiten von $v_1 \approx 153 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v_2 \approx 355 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v_3 \approx 1656 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $v_4 \approx 153 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Durch die Messung entlang von Profil 1 konnten keine weiteren Informationen über den Basaltgang gewonnen werden.

Abbildungsverzeichnis

1	Darstellung der relevanten Größen	4
2	Schematische Darstellung des Laufzeitdiagramms beim Einschichtfall. In rot dargestellt ist die gedachte Verlängerung des Geradeabschnitts der refraktierten Welle, angelehnt an Skizze in [5]	5
3	Schematische Darstellung eines Laufzeitdiagramms beim Mehrschichtfall. In rot dargestellt sind die gedachten Verlängerungen der Geradenabschnitte der refraktierten Wellen, angelehnt an Skizze in [5]	7
4	Schematische Darstellung des Untergrundes beim Fall einer geneigten Schichtgrenze mit allen relevanten Größen, angelehnt an Skizze in [5]	8
5	Schematische Darstellung des Laufzeitdiagramms beim Fall einer geneigten Schichtgrenze. Die roten Linien stellen die gedachte Verlängerung der Geradenabschnitte der refraktierten Wellen dar, angelehnt an Skizze in [5]	9
6	Schematische Darstellung der relevanten Parameter für die Methode der Verzögerungszeiten, angelehnt an Skizze in [5]	11
7	Skizzenhafter Versuchsaufbau	15
8	Laufzeitkurve von Profil 1. Die schwarzen Punkte geben dabei die Werte des Hinschlusses an und die roten Punkte zeigen die Werte des Rückschlusses, die grüne und die blaue Gerade zeigen die lineare Regression der direkten Welle von Hin- und Rückschluss	17
9	Laufzeitkurve von Profil 2. Die quadratischen Punkte geben dabei die Werte des Hinschlusses an und die runden Punkte zeigen die Werte des Rückschlusses, die rote und die blaue Gerade zeigen die lineare Regression des Halbraums und die grüne und die lila Gerade zeigen die lineare Regression der direkten Welle	19
10	Laufzeitkurve von Profil 3. Die schwarzen Punkte zeigen den Hinschuss und die roten Punkte zeigen den Rückschuss. Die grüne und lila Linie sind die Ausgleichsgeraden des Halbraums von Hin- und Rückschluss	21
11	Laufzeitkurve des Mittelschuss von Profil 3. Die quadratischen Punkte zeigen die Messpunkte, die blaue Gerade zeigt die lineare Regression links des Schusspunkts des Halbraums und die lila Gerade zeigen die lineare Regression des Halbraums rechts des Schusspunkts	22

12	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zu dem Profil 2 . . .	31
13	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zu dem Profil 3 im Fall einer geneigten Schichtgrenze	31
14	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zu dem Profil 3 im Fall einer söhlichen Lagerung	32
15	Lage der Profile (ohne Profil 3 (zwischen S1-S2)) im Messgebiet A59/1 Riedheim während der Messwoche im Mai 2016	xxvii
16	Lage von Profil 3 im Messgebiet A59/1 Riedheim während der Messwoche im Mai 2016	xxviii
17	Foto des Messgebiets mit den Verläufen der Profile (außer Profil 3)	xxviii

Literatur

- [1] J. Bartlakowski et al. 2014. Geophysikalische Laborübung.
- [2] Berckhemer, H. 2005. Grundlagen der Geophysik. 2. Auflage. Frankfurt: Fachbereich Geowissenschaften der Johann Wolfgang Goethe Universität.
- [3] Großmann, E. Unbekannt. SISSY (Seismik Impuls Source SYstem) [online]. Verfügbar unter: <https://www.liag-hannover.de/s/s1/a1/sissy.html>. [Zugriff am: 28.05.2016]
- [4] Gajewski, D. 2013. Vorlesungsskript Angewandte Geophysik I [online]. Uni Hamburg. Verfügbar unter: <https://www.geo.uni-hamburg.de/geophysik/studium/bsc-geophysik-ozeanographie/module/3-sem/vgan/angewandte-seismik.pdf>. [Zugriff am: 18.06.2016]
- [5] Forbriger, T. et al. 2016. Skriptum zu den Geophysikalischen Geländeübungen 2016. Karlsruher Institut für Technologie.
- [6] Unbekannt. Unbekannt. Flüssigkeiten [online]. Technische Universität Chemnitz. Verfügbar unter: <https://www.tu-chemnitz.de/physik/PHFK/LEHRE/SCRIPT/script2/12.pdf>. [Zugriff am: 18.06.2016]
- [7] mündliche Hinweise der Betreuer Niklas Thiel und Theresa Panther während der Messung
- [8] Bourbie,T. et al. 1987. Acoustics of Porous Media. Gulf Publishing Company, Houston.

- [9] Stölzer, M. 2001. Hinweise zur Fehlerrechnung [online]. Universität Halle. Verfügbar unter: <http://www.physik.uni-halle.de/Lehre/Grundpraktikum/gpfehler.htm>. [Zugriff am: 18.06.2016]
- [10] Schreiner, A., 1983. Erläuterungen zu Blatt 8218 Gottmadingen. Geol. Karte 1:25000 von Baden-Württemberg. Stuttgart.
- [11] Unbekannt. Unbekannt. Hammerschlagseismik [online]. Universität Freiberg. Verfügbar unter: <http://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institute-of-geophysics-and-geoinformatics-575/hammerschlagseismik.pdf>. [Zugriff am: 18.06.2016]
- [12] Walser, M. 2008. Refraktionsseismik am Heumöser Hang. Diplomarbeit im Studiengang Technische Geowissenschaften am Institut für Geophysik der Universität Stuttgart [online]. Verfügbar unter: http://www.geophys.uni-stuttgart.de/forschung/diplomarbeiten/DA_Maria_Walser.pdf. [Zugriff am: 19.06.16]
- [13] Geol. Karte baden-Württ. 1:25000, Blatt 8218 Gottmadingen, 3. ergänzte Auflage, Freiburg i. Br. 1995

A Anhang

Tabellen

Profil 1

Tabelle 2: Laufzeit des Hinschuss von Profil 1

Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s
0	0,00215	22,5	0,02903
0,5	0,0043	23	0,02903
1	0,00914	23,5	0,02903
1,5	0,01075	24	0,02957
2	0,0129	24,5	0,03011
2,5	0,01452	25	0,03011
3	0,01613	25,5	0,03065
3,5	0,0172	26	0,03065
4	0,01828	26,5	0,03118
4,5	0,01989	27	0,03172
5	0,01989	27,5	0,0328
6	0,02043	28	0,03333
7	0,02097	28,5	0,0328
8	0,02151	29	0,03333
9	0,02204	29,5	0,03333
10	0,02258	30	0,03333
11	0,02312	31	0,0328
12	0,02366	32	0,0328
13	0,02473	33	0,03333
14	0,02581	34	0,03333
15	0,02581	35	0,03387
15,5	0,02581	36	0,03495
16	0,02581	37	0,03495
16,5	0,02581	38	0,03548
17	0,02634	39	0,03602
17,5	0,02688	40	0,03656
18	0,02688	40,5	0,03656
18,5	0,02688	41	0,0371
19	0,02742	41,5	0,03656
19,5	0,02742	42	0,0371
20	0,02742	42,5	0,03656
20,5	0,02742	43	0,0371
21	0,02688	43,5	0,0371
21,5	0,02688	44	0,03763
22	0,02742		

Tabelle 3: Laufzeit des Rückschuss von Profil 1

Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s
0,5	0,0371	22,5	0,02661
1	0,03737	23	0,02634
1,5	0,0371	23,5	0,02527
2	0,03758	24	0,02446
2,5	0,03661	24,5	0,02446
3	0,03602	25	0,02366
3,5	0,03548	25,5	0,02339
4	0,03629	26	0,02312
4,5	0,03602	26,5	0,02312
5	0,03575	27	0,02258
6	0,03495	27,5	0,02258
7	0,03522	28	0,02204
8	0,03441	28,5	0,02258
9	0,03387	29	0,02177
10	0,0328	29,5	0,02151
11	0,03274	30	0,02097
12	0,03253	31	0,01989
13	0,03226	32	0,01962
14	0,03172	33	0,01882
15	0,03172	34	0,01882
15,5	0,03145	35	0,01855
16	0,0307	36	0,01774
16,5	0,03011	37	0,01774
17	0,03038	38	0,01667
17,5	0,03038	39	0,01613
18	0,03065	40	0,01586
18,5	0,03065	40,5	0,01559
19	0,03091	41	0,01452
19,5	0,03038	41,5	0,01398
20	0,02903	42	0,01237
20,5	0,02823	42,5	0,01156
21	0,02742	43	0,00995
21,5	0,02688	43,5	0,00753
22	0,02661	44	0,00565
		44,5	0,00323

Profil 2

Tabelle 4: Laufzeiten des Hinschuss von Profil 2

Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s
0,5	0,0006818	11,5	0,01614
1	0,004773	12	0,01636
1,5	0,007727	12,5	0,01682
2	0,008182	13	0,01681
2,5	0,007045	13,5	0,01727
3	0,007955	14	0,01795
3,5	0,008636	14,5	0,01795
4	0,009318	15	0,01795
4,5	0,009773	15,5	0,01909
5	0,01023	16	0,02
5,5	0,01136	16,5	0,02091
6	0,01159	17	0,02136
6,5	0,01204	17,5	0,02227
7	0,0125	18	0,02273
7,5	0,01341	18,5	0,02341
8	0,01364	19	0,02386
8,5	0,01432	19,5	0,02386
9	0,01455	20	0,02477
9,5	0,01432	20,5	0,02591
10	0,01477	21	0,02614
10,5	0,01545	21,5	0,02522
11	0,01568	22	0,02455
		22,5	0,02409

Tabelle 5: Laufzeiten des Rückschuss von Profil 2

Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s
0	0,02545	11,5	0,01772
0,5	0,025	12	0,01727
1	0,02455	12,5	0,01704
1,5	0,02409	13	0,01681
2	0,02340	13,5	0,01659
2,5	0,02318	14	0,01590
3	0,02341	14,5	0,01568
3,5	0,02341	15	0,01568
4	0,02295	15,5	0,01477
4,5	0,02295	16	0,01409
5	0,02295	16,5	0,01340
5,5	0,02205	17	0,0125
6	0,02182	17,5	0,01204
6,5	0,02114	18	0,01181
7	0,02136	18,5	0,01113
7,5	0,02114	19	0,01045
8	0,02136	19,5	0,01045
8,5	0,02068	20	0,009772
9	0,01909	20,5	0,008864
9,5	0,01909	21	0,007955
10	0,01909	21,5	0,007045
10,5	0,01840	22	0,005909
11	0,01795	22,5	Geophon defekt

Profil 3

Tabelle 6: Laufzeiten des Hinschuss von Profil 3

Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s
2	0,00688	52	0,04125	102	0,06563
4	0,00875	54	0,04188	104	0,06563
6	0,01313	56	0,04375	106	0,06688
8	0,01375	58	0,04562	108	0,06688
10	0,01688	60	0,04625	110	0,0675
12	0,02063	62	0,0475	112	0,06813
14	0,02438	64	0,04813	114	0,06875
16	0,0275	66	0,05063	116	0,0725
18	0,02875	68	0,05187	118	0,07312
20	0,03	70	0,05312	120	0,07375
22	0,03062	72	0,05438	122	0,075
24	0,03125	74	0,055	124	0,07687
26	0,03188	76	0,05563	126	0,0775
28	0,0325	78	0,05688	128	0,07875
30	0,03313	80	0,0575	130	0,07875
32	0,03375	82	0,05875	132	0,07813
34	0,03438	84	0,05937	134	0,07938
36	0,03438	86	0,06125	136	0,07938
38	0,03562	88	0,06125	138	0,08125
40	0,0375	90	0,06187		
42	0,03812	92	0,0625		
44	0,03875	94	0,06438		
46	0,03938	96	0,06563		
48	0,03938	98	0,06625		
50	0,04063	100	0,06563		

Tabelle 7: Laufzeiten des Mittelschuss von Profil 3

Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s
-73	0,05806	-21	0,03419	31	0,04129
-71	0,05742	-19	0,0329	33	0,04258
-69	0,05806	-17	0,03161	35	0,04323
-67	0,05613	-15	0,02968	37	0,04387
-65	0,05548	-13	0,02645	39	0,04645
-63	0,05484	-11	0,02387	41	0,0471
-61	0,05419	-9	0,02	43	0,04839
-59	0,0529	-7	0,01613	45	0,04968
-57	0,05161	-5	0,01161	47	0,05032
-55	0,05032	-3	0,00516	49	0,05161
-53	0,04968	-1	0,00516	51	0,0529
-51	0,04774	1	0,01161	53	0,05419
-49	0,0471	3	0,01742	55	0,05484
-47	0,04581	5	0,02129	57	0,05548
-45	0,04452	7	0,02516	59	0,05548
-43	0,04387	9	0,02774	61	0,05613
-41	0,04387	11	0,03032	63	0,05677
-39	0,04258	13	0,0329		
-37	0,04129	15	0,03484		
-35	0,04	17	0,03806		
-33	0,03871	19	0,03935		
-31	0,03871	21	0,04065		
-29	0,03742	23	0,04		
-27	0,03677	25	0,04		
-25	0,03613	27	0,04129		
-23	0,03484	29	0,04129		

Tabelle 8: Laufzeiten des Rückschuss von Profil 3

Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s	Position in m	Zeit in s
0	0,08194	52	0,06129	104	0,03032
2	0,08129	54	0,06065	106	0,02903
4	0,08194	56	0,06065	108	0,02774
6	0,08065	58	0,06	110	0,02774
8	0,08	60	0,05935	112	0,02645
10	0,07871	62	0,05935	114	0,02581
12	0,07742	64	0,05871	116	0,02516
14	0,07677	66	0,05871	118	0,02387
16	0,07613	68	0,05742	120	0,02323
18	0,07548	70	0,05677	122	0,02258
20	0,07484	72	0,05613	124	0,02129
22	0,07355	74	0,05419	126	0,02065
24	0,07226	76	0,05355	128	0,01935
26	0,07097	78	0,0529	130	0,01742
28	0,06968	80	0,05161	132	0,01484
30	0,06839	82	0,05097	134	0,01161
32	0,06774	84	0,04968	136	0,00774
34	0,06774	86	0,04839		
36	0,06645	88	0,04645		
38	0,06581	90	0,04129		
40	0,06516	92	0,03871		
42	0,06323	94	0,03742		
44	0,06258	96	0,03548		
46	0,06258	98	0,03419		
48	0,06194	100	0,03226		
50	0,06129	102	0,03161		

Methode der Verzögerungszeiten

Tabelle 9: Parameter zur Anwendung der Methode der Verzögerungszeiten

Position von B in m	Verzögerungszeit t_b in s	Lottiefe d_b in m
3	0,004384	0,445
3,5	0,005066	0,5143
4	0,005293	0,5373
4,5	0,005748	0,5835
5	0,006203	0,6297
5,5	0,00643	0,6527
6	0,00643	0,6527
6,5	0,006203	0,6297
7	0,006884	0,6989
7,5	0,007566	0,7681
8	0,008021	0,8143
8,5	0,008020	0,8142
9	0,006657	0,6758
9,5	0,00643	0,6527
10	0,006884	0,6989
10,5	0,006884	0,6989
11	0,006657	0,6758
11,5	0,006884	0,6989
12	0,006657	0,6758
12,5	0,006884	0,6989
13	0,006657	0,6758
13,5	0,006884	0,6989
14	0,006884	0,6989
14,5	0,006657	0,6758
15	0,006657	0,6758
15,5	0,006884	0,6989
16	0,007111	0,722
16,5	0,007339	0,7450
17	0,006884	0,699
17,5	0,007339	0,7450
18	0,007566	0,7681
18,5	0,007566	0,7681
19	0,007339	0,7450
19,5	0,007339	0,7450
20	xiii	0,007566

Auszug aus dem Protokoll von Marius Sulzer und Hendrik Büker

Hinweis: Im folgende Auszug aus dem Protokoll zum Seismikversuch am 19. Mai 2016 von Marius Sulzer und Hendrik Büker wurde lediglich die Nomenklatur vereinheitlicht. Verantwortlich für den Inhalt sind die oben genannten Autoren.

Das zum vermuteten Verlauf des Basaltgangs senkrecht liegende Profil 1 hat eine Länge von 45 m, wobei die Geophone in unterschiedlichen Abständen zwischen 0,5 und 1 m gesetzt werden. Die Unterschiede röhren daher, dass am Anfang die direkte Welle erfasst werden soll und daher dort geringere Abstände zwischen den Empfängern erforderlich sind. In der Mitte des Profils röhren die geringen Abstände daher, dass dort der Basaltgang vermutet wird.

Aus dem Laufzeitdiagramm wird nun die Untergrundsschichtung modelliert: Das Laufzeitdiagramm zeigt bereits an, dass es sich um drei Schichten über einem Halbraum handelt, wobei von geneigten Schichtgrenzen aufgrund fehlender Symmetrie ausgegangen wird. Aus dem Reziproken der einzelnen Steigungen werden die Scheingeschwindigkeiten abgelesen. Dabei bezeichnet der Index „o“ den Hinschuss, gezeichnet in orange, der Index „g“ den Rückschuss, gezeichnet in grün. Der orangene Schuss bezeichnet die Beobachtung ins Steigen der Grenzfläche, der grüne das Fallen. Die direkte Welle hat aufgrund von Fehlern beim Picken der Ersteinsätze, beim Zeichnen und beim Anlegen der Regressionsgeraden zwei unterschiedliche Werte, die für die weitere Rechnung gemittelt werden.

$$v_{1,o} = 146.67 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{2,o} = 320.00 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{3,o} = 1658.37 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{4,o} = 3555.56 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{1,g} = 160 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{2,g} = 400 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{3,g} = 1655.17 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{4,g} = 2000 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_1 = 153.35 \text{ m s}^{-1}$$

Die Intercept-Zeiten können aus den Schnittpunkten der Verlängerungen der Geradenabschnitte mit der Ordinate abgelesen werden:

$$t_{2,o} = 4.25 \text{ ms}$$

$$t_{3,o} = 15.6 \text{ ms}$$

$$t_{4,o} = 25.25 \text{ ms}$$

$$t_{2,g} = 4.8 \text{ ms}$$

$$t_{3,g} = 12.0 \text{ ms}$$

$$t_{4,g} = 14.6 \text{ ms}$$

Mit Gleichung 25 (Hinweis: Aufgrund fehlender Referenz mit dem Originalprotokoll wird auf die entsprechende Formel in diesem Protokoll verwiesen) können die kritischen Winkel der i-ten Grenzen berechnet werden zu:

$$\vartheta_1 = 25.59^\circ$$

$$\vartheta_2 = 12.56^\circ$$

$$\vartheta_3 = 41.83^\circ$$

Die kritischen Winkel der aufsteigenden Welle an den Schichtgrenzen sind bestimmt zu

$$\vartheta_{12} = 5.31^\circ$$

$$\vartheta_{23} = 8.35^\circ.$$

Die Schichtneigungen sind aus Gleichung 26 (Hinweis: Aufgrund fehlender Referenz mit dem Originalprotokoll wird auf die entsprechende Formel in diesem Protokoll verwiesen) zu bestimmen:

$$\alpha_1 = 3.05^\circ$$

$$\alpha_2 = 1.42^\circ$$

$$\alpha_3 = 14.02^\circ$$

Die wahren Schichtgeschwindigkeiten ergeben sich nach Gleichung 21 (Hinweis: Aufgrund fehlender Referenz mit dem Originalprotokoll wird auf die entsprechende Formel in diesem Protokoll verwiesen) zu

$$v_2 = 355.05 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_3 = 1656.26 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_4 = 2483.74 \text{ m s}^{-1}.$$

Es ergeben sich abschließend folgende Schichtmächtigkeiten, durch Anwenden der Gleichung (Hinweis: nicht in diesem Protokoll enthalten) auf eine geneigte Schichtung:

$$d_{1,o} = 0.36 \text{ m}$$

$$d_{2,o} = 1.79 \text{ m}$$

$$d_{3,o} = 1.81 \text{ m}$$

$$d_{1,g} = 0.41 \text{ m}$$

$$d_{2,g} = 1.37 \text{ m}$$

$$d_{3,g} = 8.67 \text{ m}$$

Ein aus den berechneten Werten erstelltes Untergrundmodell ist im Anhang einzusehen. (Hinweis: Hier ist das entsprechende Modell direkt im Anschluss an diesen Auszug zu finden) Die Auswertung dieser Daten erweist sich als problematisch, insofern, als dass die Systematik von mehr als einem geneigten Refraktor nicht eingeführt worden ist und aufgrund der begrenzten Zeitspanne nicht näher beleuchtet werden kann.

Ein qualitative Interpretation erweist sich insofern als schwierig, da die Annahme homogener Schichten besteht. Die Kenntnis eines Basaltgangs liefert jedoch bereits einen Widerspruch dieser Theorie. Dennoch wird eine Analyse unter der Annahme dieser Schichtung versucht.

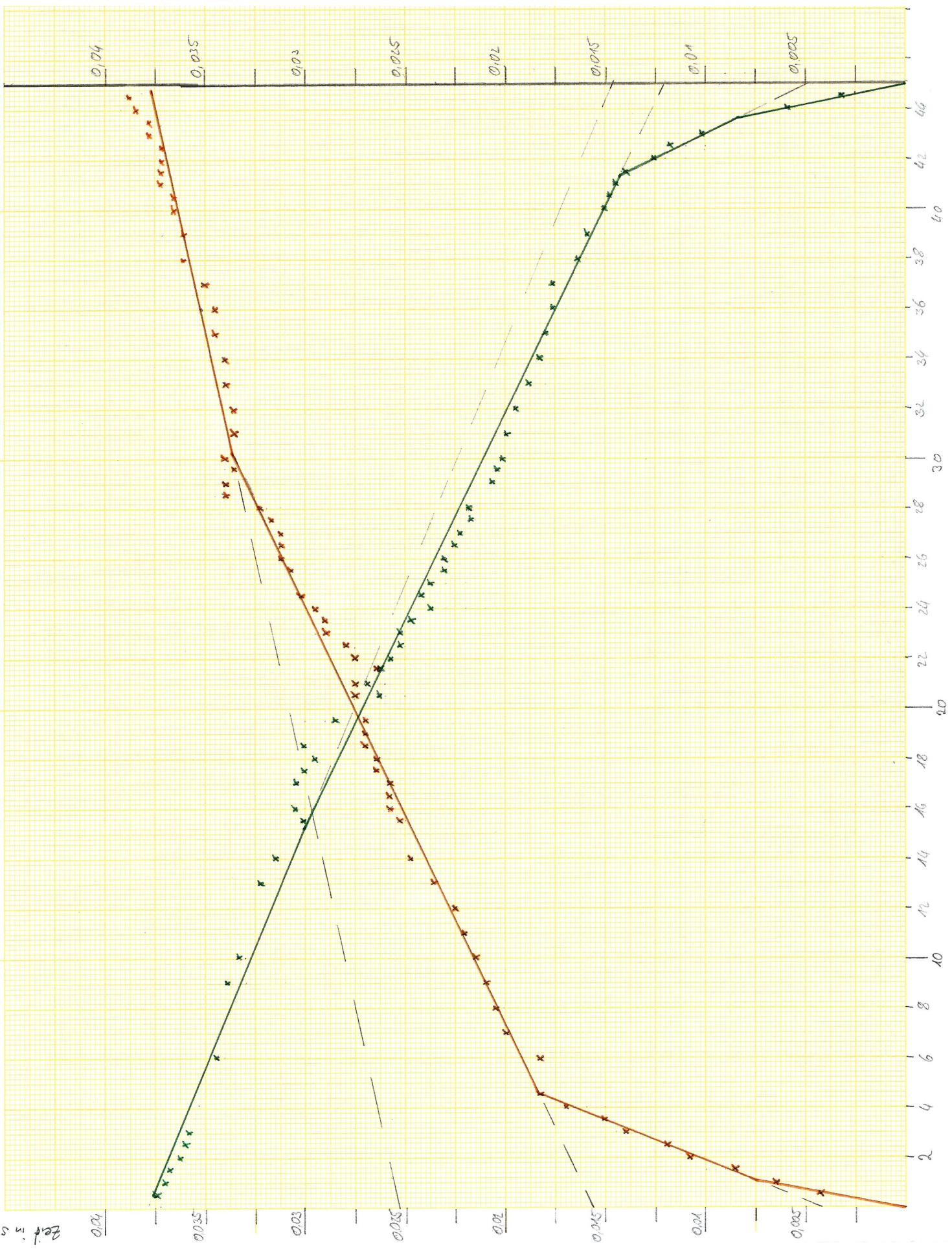
Die erste Schicht ist etwa 3° in Richtung Osten geneigt und weist eine durchschnittliche Mächtigkeit von etwas weniger als 0.4 m auf. Dies liegt in Übereinstimmung mit der geoelektrischen Sondierung (Hinweis: Diese Aussage bezieht sich auf die Ergebnisse der Protokollgruppe von Marius Sulzer und Hendrik Büker. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Protokollgruppe von Alicia Rohnacher und Ann-Kathrin Edrich ist im Hauptprotokoll zu finden), die eine oberste Schichtmächtigkeit von etwa 0.5 m ermittelt. Die nächste Schicht weist eine entgegengesetzte Neigung von etwa 1.4° auf und besitzt eine durchschnittliche Mächtigkeit von etwa 1.6 m während die darauffolgende Schicht, die mit einer Neigung von 14° gegen Osten einen enormen Mächtigkeitszuwachs von fast 7 m auf maximale 8.67 m aufweist. Die geoelektrische Sondierung des Profils Q verläuft etwa senkrecht zum östlichen Teil des Profils 1 und liefert ebenfalls eine Anomalie des Untergrundes. Obwohl nur zwei Schichten über dem Halbraum zu finden sind, hat die zweite Schicht eine überdurchschnittliche Mächtigkeit. (Hinweis: Diese Aussage bezieht sich auf die Ergebnisse der Protokollgruppe von Marius Sulzer und Hendrik Büker. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Protokollgruppe von Alicia Rohnacher und Ann-Kathrin Edrich ist im Hauptprotokoll zu finden). Möglicherweise liefert die Seismik ein genaueres Bild des Untergrunds und die zweite Schicht der Sondierung besteht aus zwei Schichten der seismischen Messung, wobei nicht genau geklärt werden kann, wodurch dieser Anstieg der Schichtmächtigkeit zu stande kommt. Möglicherweise wird durch das Gefälle des Geländes eine große Menge von Wasser im östlichen Teil des Profils angesammelt. Eine Interpretati-

on der Geschwindigkeiten erweist sich aufgrund der inhomogenen Schichtung als problematisch. Die Geschwindigkeit der ersten Schicht liegt nahe an der Geschwindigkeit in Luft im Bereich von 0.3 km s^{-1} , was für eine lockere, sehr luftdurchdringene Schicht spricht. Die weiteren Werte steigen dann rapide an, was dadurch zu erklären ist, dass die tieferen Schichten allein durch die aufliegenden Lasten eine höhere Dichte in der Struktur aufweisen und dadurch die Wellen besser leiten. Darüber hinaus wird erst in tieferen Schichten der Einfluss des Basaltgangs deutlich, da dieser in den Messungen der Vortage frühestens in einer Tiefe von etwas weniger als 1 m anzutreffen ist. Die Werte der Wellengeschwindigkeiten in Basalt liegen zwischen 5.1 km s^{-1} und 6.4 km s^{-1} und damit weit über den berechneten Werten. Zum Einen ist dies dadurch zu erklären, dass der Einfluss des Ganges zusammen mit anderen Strukturen gemittelt in die Annahme der homogenen Schichtung eingeht. Am wichtigsten ist jedoch die Tatsache, dass der Boden aufgrund von meist starken Regenfällen an den Vortagen der Messung stark wassergesättigt ist und das Wasser die Wellen mit einer Geschwindigkeit von etwa 1.5 km s^{-1} leitet. In der Mittelung schlägt sich das in einem Absinken der Werte nieder, die im Allgemeinen höher zu erwarten sind. Allein die zweite Schicht weist eine Geschwindigkeit nahe derer in Wasser auf, wobei die meisten Gesteine, die im hiesigen Untergrund zu finden sind im Wertebereich größer 2 km s^{-1} liegen. Die angegebenen Werte sind alle dem Skript zur Einführung in die Geophysik 2 von Wenzel (2015) entnommen.

Die Analyse ist wenig befriedigend, wobei unter den gegebenen Umständen keine andere Möglichkeit zu sehen ist. Die Fehler allein beim Picken der Ersteinsätze im Seismogramm, beim Zeichnen der Punkte und beim Anlegen der Regressionsgeraden lassen allein den Fehler auf die Schichtgeschwindigkeit im Bereich von 200 m s^{-1} liegen. Die Fortpflanzung des Fehlers auf alle weiteren Messgrößen, die direkt abgelesen werden oder indirekt berechnet werden, ist dadurch so hoch, dass die Messwerte keineswegs als fundiert angesehen werden dürfen. Darüber hinaus kommt es bereits bei der Messung zu ungeahnten Fehlerquellen. Die Bewegung der Bäume im Wind, der am Messtag mittelstark weht, wird über die Wurzeln in den Boden geleitet und erzeugt Störsignale. Darüber hinaus ist ein exakt mittiges Treffen der Schlagplatte nicht immer garantiert, wodurch diese sich leicht vom Boden hebt und beim Aufkommen ein weiteres, störendes Signal erzeugt. Fehler in der Kalibrierung der Geophone können herstellerbedingt ebenfalls auftreten, wobei diese Fehler im Vergleich zu allen weiteren so gering sind, dass sie vernachlässigt werden können.

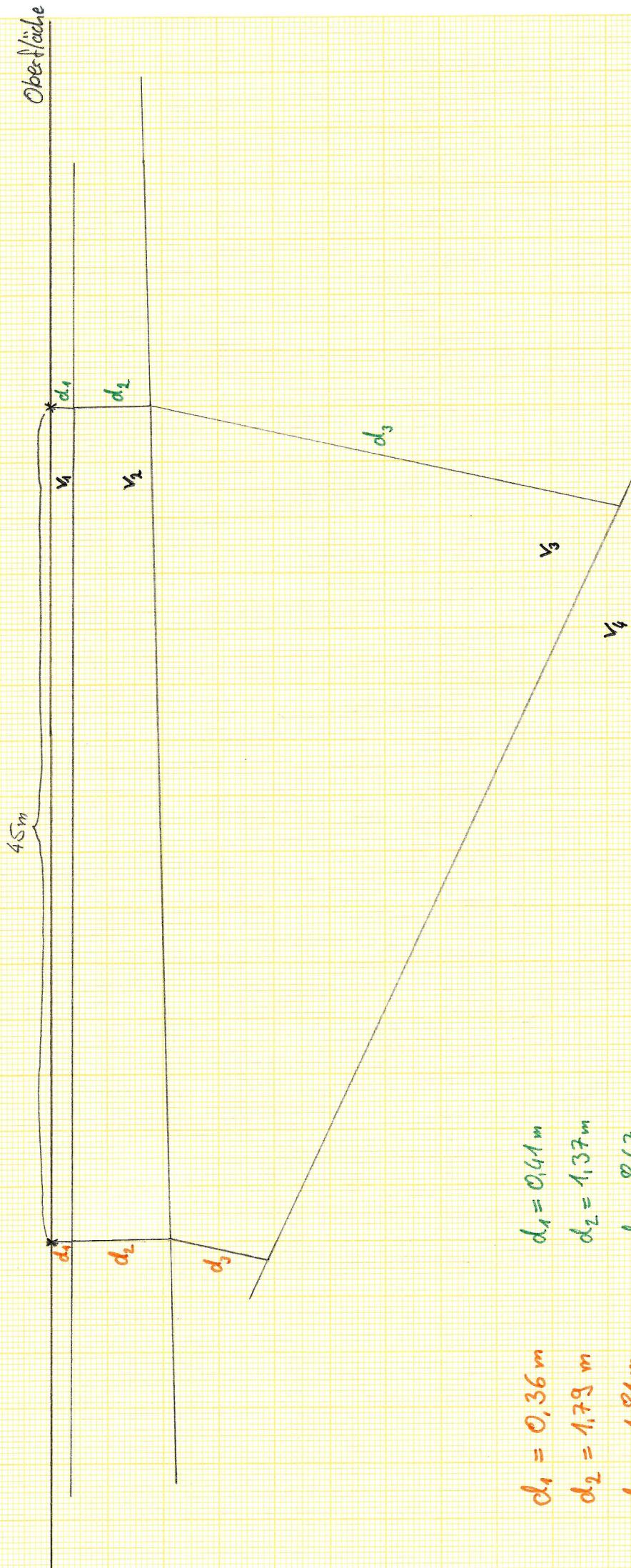
Zusammenfassend liefert die Messung wenig fundierte Erkenntnisse in den Untergrund und muss daher lediglich als Übung angesehen werden.

Profil 1 = Profil D



Ausdehnung Messprofil in m

Profil D - Untergrenzmodell



$$d_1 = 0.36 \text{ m}$$

$$d_1 = 0.41 \text{ m}$$

$$d_2 = 1.37 \text{ m}$$

$$d_3 = 8.67 \text{ m}$$

$$d_1 = 1.79 \text{ m}$$

$$d_2 = 1.81 \text{ m}$$

$$d_3 = 0.67 \text{ m}$$

$$V_1 = 153,35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_2 = 355,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_3 = 1656,26 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_4 = 2483,74 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Handschriftliche Mitschriebe im Gelände

Spasmile

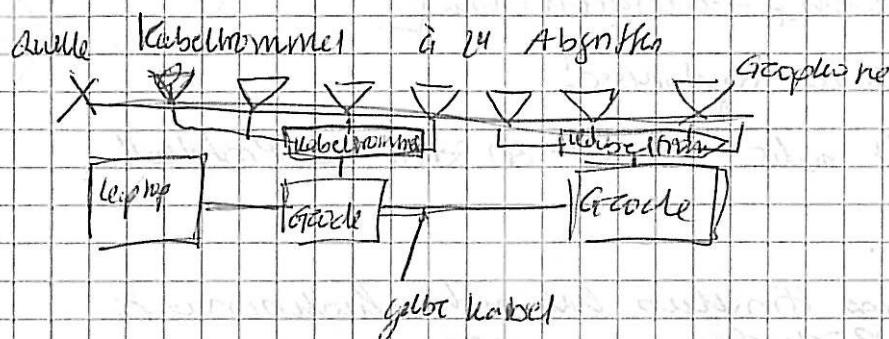
verpuffen → nicht springen

ein Geyser folgen bewegt sich also Spazier nicht magnet, daraus auch so anfallig sehr aufgetragen → Magnetfeld

Profil 1 D1 → D2 45 m langer Profil

40-45	0,5 m Abstand	z demnach abdeckt
0-5	0,5 m Abstand	Welle bei Wind- und
5-15	1 m Abstand	Rückschwung gut
15-30	0,5 m Abstand	sicherer
30-40	1 m Abstand	

daraus mit 69 Geophone



ab Geophone Punkte → Kabelknoten → Dicht → Geode gelber Kabel → Leprop

Metallplatte am
Beginn in den
Schlagenten, damit
nicht seitliche
Wackelung.

→ Wind
Fehlerquelle: Bauteile, unterschiedliche eingespeiste Energie, aus Leistungs-
unterschieden Signal, Fehlerquelle
Stumpfzeitintervall 0,25 ms
Aufzeichnungszeit 1 s

4 kg Vorschwungsklemme

Tiger wird hängend einer Metallplatte hängen, das bei Beschleunigung
die Klemme aktivieren

Hinshuss:

1. Schlag: Jakob
2. - 10. Schlag: Ann-Kathrin

Rückschuss

1. Schlag: Karo

Profil 2: 23 m Geophonabstand 0,5 m

Hinshuss: Frank Rückschuss Sebastian

Profil 1 entgegengesetztes Verhalten des Beschleunigungs

3. Profil: 146 m lang über auf dem Berg

Geophenabstand 2m

Messung mit Jisy in Linie → Messung einschließlich 0,85 m
leichte Hypogeophylie entlang des Messprofils

1. Schritt: 0m

2. Schritt: 73m

3. Schritt: 146m

für Protokoll = qualifizierte Tiefenaufnahme

Sätze der Ergebnisse!

Nicht mehr als 20-30 Sätze im Protokoll

Profil 2: Rückzähnen (Rückzähnen hat nicht funktioniert
→ Rückzählen auswerten)

1. Messung mit Sisy auf MM-Papier

→ verschiedene Abstimmungen durch einen Abschnittsleiter → Fehler ~ 10%

Profil 2 & 3 unvollständig → Schreibgeschwindigkeit angeben

Lageskizzen

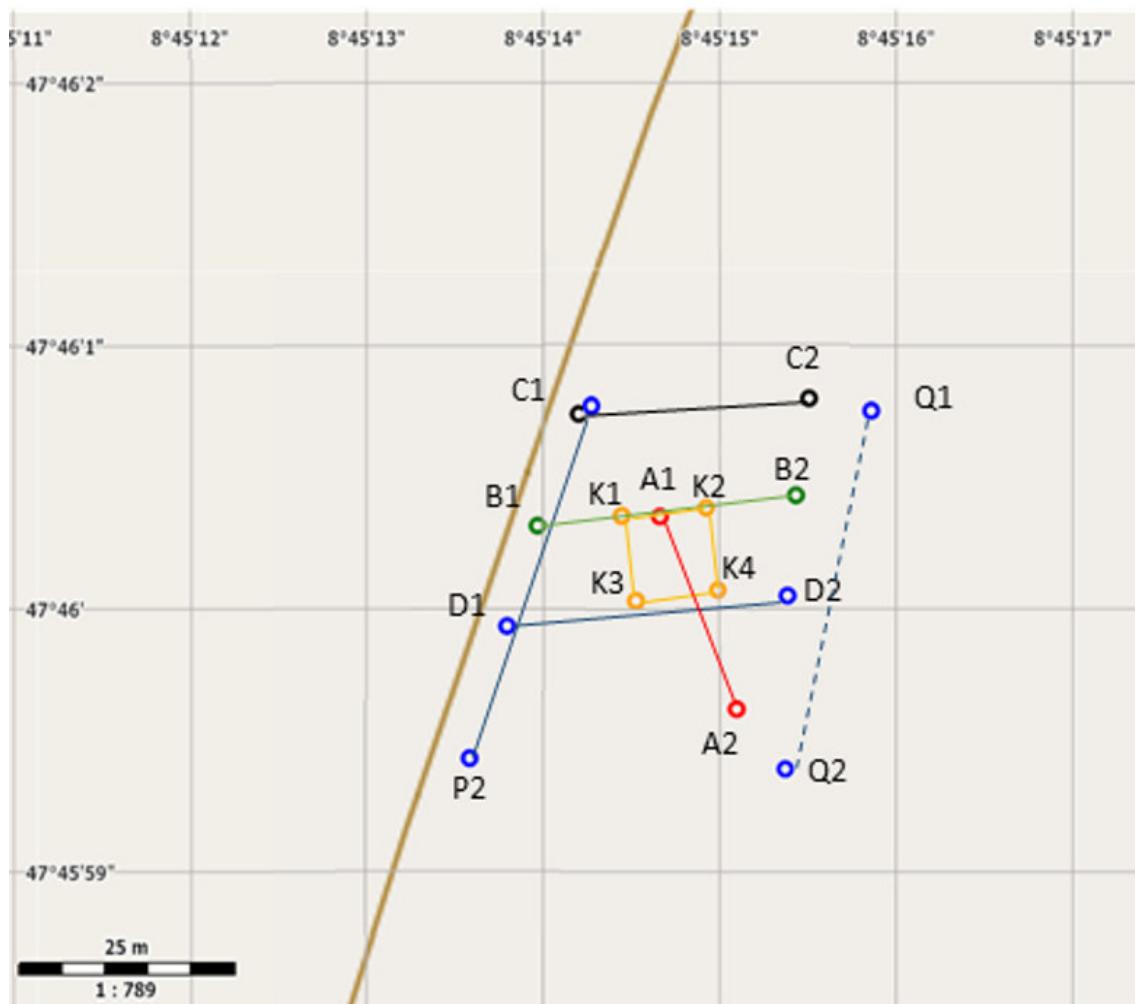


Abbildung 15: Lage der Profile (ohne Profil 3 (zwischen S1-S2)) im Messgebiet A59/1 Riedheim während der Messwoche im Mai 2016

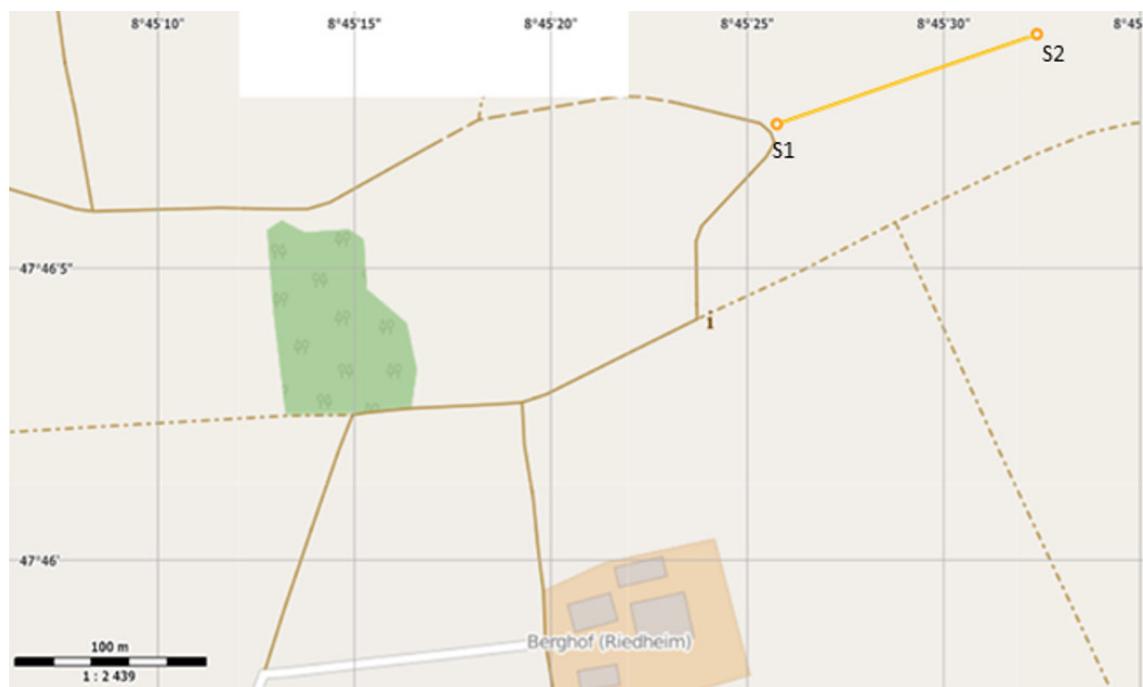


Abbildung 16: Lage von Profil 3 im Messgebiet A59/1 Riedheim während der Messwoche im Mai 2016

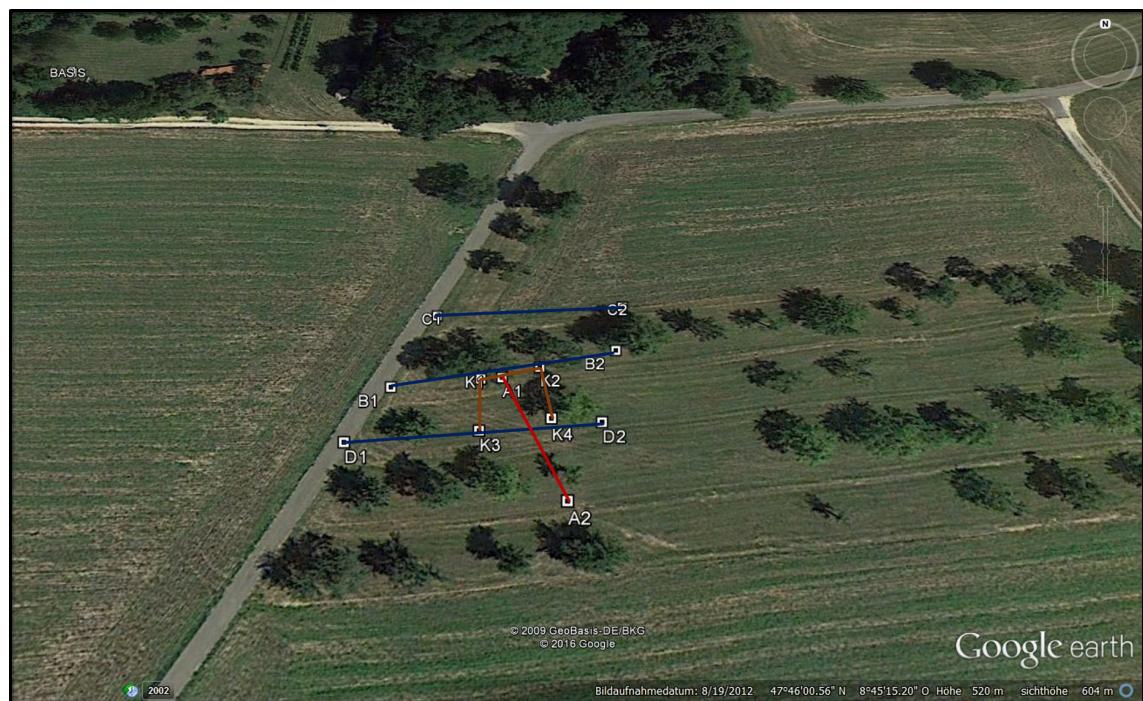


Abbildung 17: Foto des Messgebiets mit den Verläufen der Profile (außer Profil 3)

METHODE DER VERZÖGERUNGSEITEN

