



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau
Institut für Geophysik und Geoinformatik
Seismik und Elektromagnetik

Protokoll

Geophysikalisches Untertagepraktikum in der Reiche Zeche

Machel Muhlanga

Geophysik
Matrikel: 63 024

21. April 2024

Betreuer/1. Korrektor:
Dr. J. Börner
Dr. M. Scheunert
MSc. N. Kühne

1 Schachtgravimetrie

1.1 Aufgabe

Bestimmung der Blockdichte des Inneren Freiberger Graugneises durch gravimetrische Messungen im Schacht der Himmelfahrt Fundgrube.

1.2 Durchführung

- Gravimetrische Messungen in 4 Tiefenniveaus
- Messgerät: Statisches Gravimeter Autograv CG-5, Scintrex Kanada,
- Messgröße: Relative Schwerebeschleunigung g in $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$,
- Messzeit: $t = 1 \text{ min}$, Ablesungen $n = 60$,
- Anlage der Messungen: Schleifenmessung,
- Basispunkt: P0/Ba, 1. Sohle.

Messpunkt	Bezeichnung	NHN (m)	Schachttiefe z (m)
P3	Schachtkopf, Hängebank	428.75	0
P2	Aufschlagrösche, Radstube	362.23	66.52
P1	Alter Tiefer Fürstenstollen	327.82	100.93
P0/Ba	1. Sohle	281.24	147.51
	Rothschönberger Stollen	199.75	229.00

Tab. 1: Lage der Messpunkte

NHN: Höhen über Normalhöhen-Null, Deutsches Haupthöhennetz 2016 (DHHN2016).

Messpunkt	Zeit	Ablesung g (mGal)	SD (mGal)	Bemerkung
P0/Ba	8:01:24	4531.207	0.015	Gruppe 2
P1	08:25:18	4526.824	0.015	
P2	09:39:57	4523.472	0.013	
P3	09:50:41	4515.887	0.012	
P0/Ba	09:57:42	4531.167	0.010	
P0/Ba	10:13:48	4531.167	0.009	Gruppe 3

Tab. 2: Messprotokoll

1.3 Auswertung

1.3.1 Korrekturen (zeitliche Einflüsse)

Im Rahmen der Signalbearbeitung erfolgt die Drift- und Gezeitenkorrektur intern im CG-5, außerdem wird die Neigungskompensation angebracht.

Instrumentengangkorrektur g_G

- Wiederholungsmessungen am Basispunkt P0/Ba während eines Messtages
 - a) 1. Messung: $t = 0 \text{ min}$, $g_G = 0 \text{ mGal}$
 - b) Darstellung der Gangkurven $g_G(t)$ für jeden Tag.

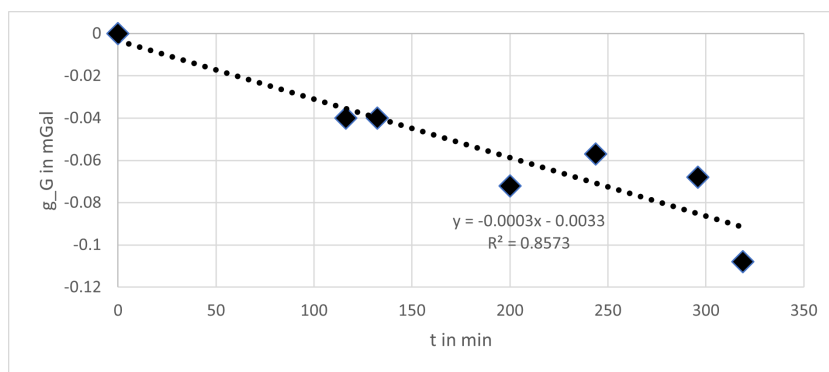


Abb. 1: Figure 1

- Lineare Regression durch den Ursprung: $g_G(t) = A_{Gang} \cdot t$
- Ergebnis: $A_{Gang} = -0,0003 \text{ mGal min}^{-1}$; Güte: $R^2 = 0.8573$
- Gangkorrektur: $\Delta g = g(t) - g_G(t)$
 - a) Δg - gangkorrigierte relative Schwerebeschleunigung,
 - b) Normierung auf die erste Basispunktablesung $\Delta g(0 \text{ min}) = 0 \text{ mGal}$

Punkt	Gruppe 2 $\Delta g(\text{mGal})$	Gruppe 3 $\Delta g(\text{mGal})$	Gruppe 1 $\Delta g(\text{mGal})$	$\overline{\Delta g}$ $\Delta g(\text{mGal})$	SD $\Delta g(\text{mGal})$
P0/Ba	0.0000	-0.0003	0.0161	0.0053	0.0077
P1	-4.3758	-4.3720	-4.3502	-4.3660	0.0113
P2	-7.7054	-7.7404	-7.6760	-7.7073	0.0263
P3	-15.2872	-15.2719	-15.2530	-15.2707	0.0140

Tab. 3: Mittelwert der relativen Schwerebeschleunigung Δg in mGal und Standardabweichung SD für die Schleifen und Tiefenniveaus.

1.3.2 Reduktionen (räumliche Einflüsse)

Bekannte bergmännische Auffahrungen (Schacht, Strecken, Hohlräume) werden rechnerisch mit Masse (Freiberger Graugneis) gefüllt.

Reduktionsdichte Freiberger Graugneis $d = 2700 \text{ kg m}^{-3}$.

Schachtreduktion δg_{Sch}

- Modell: Senkrechte Massenlinie (Näherung)

$$\delta g_{Sch} = fdA \left[\frac{1}{\sqrt{r^2 + t_1^2}} - \frac{1}{\sqrt{r^2 + t_2^2}} \right]$$

- f ... Gravitationskonstante: $f = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- t_1, t_2 ... Schachttiefe nach oben (Hängebank) bzw. unten (Rothschönberger St.)
- A ... mittlerer Schachtquerschnitt, $A = 18,75 \text{ m}^2$
- r ... Abstand Messpunkt zur Schachtachse
- Für $t_1 = t_2$ ist $\delta g_{Sch} = 0 \text{ mGal}$.

Punkt	z (m)	r (m)	t_1 (m)	t_2 (m)	δg_{Sch} (mGal)
P0/Ba	147.5	6.8	147.5	81.49	-0.0018
P1	100.9	2.84	100.9	128.1	0.00071
P2	66.52	2.35	66.52	162.5	0.003
P3	0	3.66	0	229	0.09083

Tab. 4: Schachtreduktion

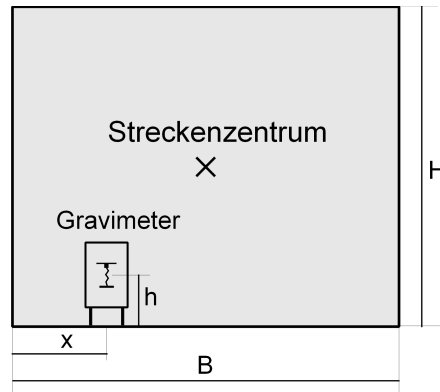
Streckenreduktion δg_{Str}

- Modell: Zweidimensionales rechtwinkliges Prisma

$$\delta g_{Str} = 2fd \left\{ (x - B) \ln \sqrt{\frac{(B - x)^2 + (H - h)^2}{(B - x)^2 + h^2}} - x \ln \sqrt{\frac{x^2 + (H - h)^2}{x^2 + h^2}} \right. \\ \left. + (h - H) \left[\arctan \frac{B - x}{H - h} + \arctan \frac{x}{H - h} \right] + h \left[\arctan \frac{B - x}{h} + \arctan \frac{x}{h} \right] \right\}$$

- Lage des Messpunktes im Streckenquerschnitt
 - a) x ... Abstand vom Streckenstoß
 - b) h ... Sensorhöhe, CG-5: $h = 0,2 \text{ m}$
 - c) B ... Streckenbreite

d) H ... Streckenhöhe



- Bei Lage des Messpunktes im Streckenzentrum

- $x = \frac{B}{2}$ und $h = \frac{H}{2}$
- daher $\delta g_{Str} = 0$ mGal

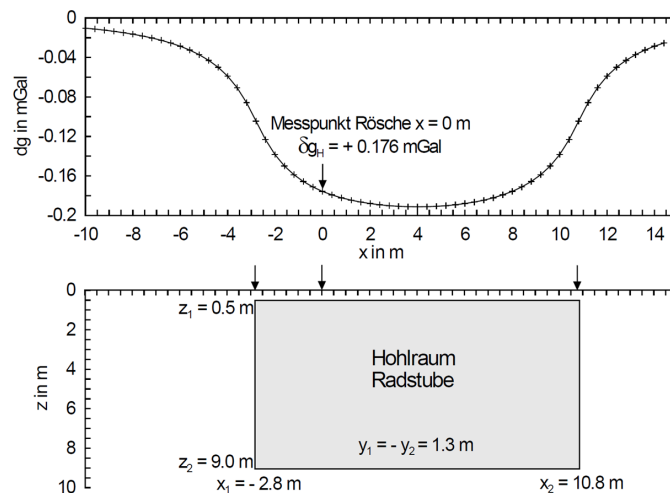
Punkt	B (m)	H (m)	x (m)	h (m)	δg_{Sch} (mGal)
1. Sohle	3.85	2.48	0.66	0.2	-0.134
Fürstenstollen	2.08	1.85	0.69	0.2	-0.0898
Rösche	3.15	2.42	0.84	0.2	-0.1305
P3	0	3.66	0	229	0.09083

Tab. 5: Streckenquerschnitt, Lage Messpunkt und Streckenreduktion

Hohlraumreduktion δg_H (Radstube unter der Rösche, Messp. P2)

- Modell: Dreidimensionales rechtwinkliges Prisma,

 - Reduktionswert: $+0.176$ mGal



Geländerreduktion δg_R (grav. Wirkung des Haldenkörpers)

- Modell: Dreidimensionale Prismen mit Trapezquerschnitt
 - a) Höhe Haldenkörper $z = 10$ m (Näherung)
 - b) Messpunkt auf der Hängebank: $\delta g_R > 0$
 - c) Messpunkte Untertage $\delta g_R < 0$

Punkt	z - fht (m)	(mGal)
P0/BP 1. Sohle	147.31	-0.26
P1 Umbruch	100.73	-0.403
P2 Rösche	66.32	-0.577
P3 Hängebank	-0.2	1.074

Tab. 6: Geländerreduktion für die vertikalen Messpunkte (0, 0, z)

1.4 Ergebnisse

1.4.1 Reduzierte relative Schwerebeschleunigungen

Berechnung:

$$\Delta g_{red} = \Delta g + \delta g_{Str} + \delta g_{Sch} + \delta g_H + \delta g_R$$

Punkt	$\overline{\Delta g}$ (mGal)	δg_{Sch} (mGal)	δg_{Str} (mGal)	δg_H (mGal)	δg_R (mGal)	Δg_{red} (mGal)
P0/BP 1. Sohle	0.0067	-0.00184	-0.134	0	-0.26	-0.39054
P1 Umbruch	-4.37	0.00071	-0.09	0	-0.403	-4.85809
P2 Rösche	-7.71	0.003	-0.131	0.176	-0.577	-8.2358
P3 Hängebank	-15.27	0.09083	0	0	1.074	-14.10587

Tab. 7: Reduktionswerte, reduzierte relative Schwerebeschleunigung

1.4.2 Bestimmung der Blockdichte d_B des Inneren Freiburger Gneises aus den reduzierten Schwerebeschleunigungen

- Die Blockdichte ist eine mittlere Dichte für die Gesteinsschicht zwischen zwei vertikalen gravimetrischen Messpunkten $\Delta g_2(z_2)$ und $\Delta g_1(z_1)$
- Berechnung

$$d_B = \frac{1}{4\pi f} \left(g_z - \frac{\Delta g_2 - \Delta g_1}{\Delta h} \right) = \frac{1}{4\pi f} (g_z - g_h)$$

- a) $\Delta g_1, \Delta g_2$... Schwerebeschleunigung unterer bzw. oberer Messpunkt
- b) Δh ... Tiefenunterschied der Messpunkte

- c) $g_z = \frac{\partial \gamma_0}{\partial z} = 0.3086 \text{ mGal/m}$... Normalschweregradient
 d) g_h Verticalgradient aus Schachtmessungen.

	Δg_{red} (mGal)	Δh (m)	g_h (mGal m ⁻¹)	d_B (kg m ⁻³)
P0 – P1	4.46755	46.58	0.096028	2537.661
P1 – P2	3.37771	34.41	0.098123	2510.823
P2 – P3	5.87007	66.52	0.088195	2629.128
P0 – P3	13.71533	147.51	0.092984	2572.648

Tab. 8: Verticalgradient aus Schachtmessungen und Blockdichte für verschiedene Tiefenintervalle

- Mittelwerte und Standardabweichung:
 - $g_h \pm \Delta g_h = 0.0938 \pm 0.0037 \text{ mGal m}^{-1}$
 - $d_B \pm \Delta d_B = 2563 \pm 44 \text{ kg m}^{-3}$

1.4.3 Darstellung

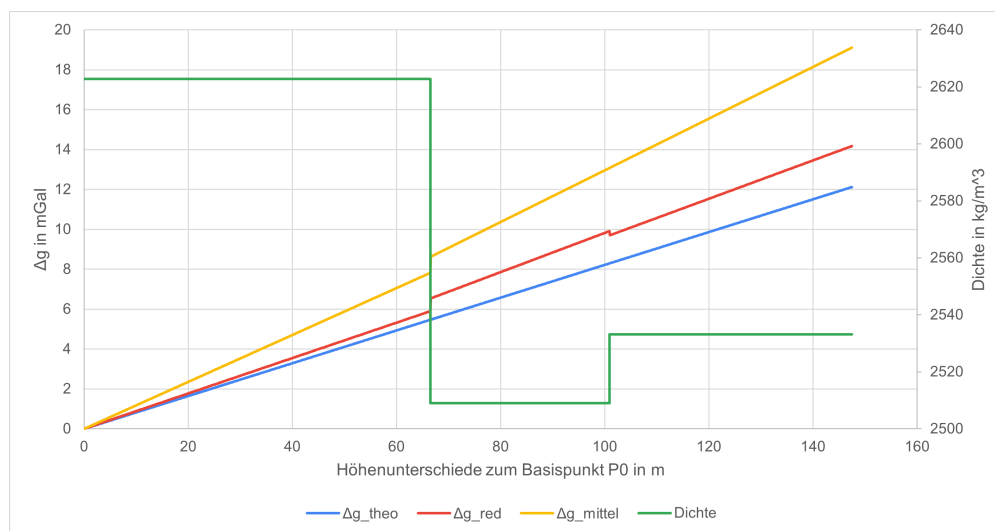


Abb. 2: Δg , Δg_{red} , Δg_{theo} und Dichte als Funktion der Tiefe.

1.5 Interpretation und Fehlerdiskussion

Die bestimmten Werte der Schwerebeschleunigung und Dichte nähern sich den theoretischen Wert. Allerdings, gibt es eine große Diskrepanz, die durch die erhöhte Porosität im Gestein ergibt.

Bei einer abgeschätzten Porosität von 5% liegt die Dichte beim Wassergefüllten Porenräume bei 2615 kg m^{-3} während bei luftgefüllten Porenräume 2565 kg m^{-3} . Der ermittelte Wert der Dichte, der deutlich unter dem theoretischen Wert liegt, könnte durch die luftgefüllten Porenräume erklärt werden.

2 Bohrlochgeoelektrik

2.1 Aufgabe

In einer wassergefüllten, horizontalen Bohrung sind elektrische Bohrlochmessungen mit verschiedenen Elektrodenkonfigurationen durchzuführen. Anhand der Bohrlochmesskurven sind die Schichtgrenzen einer sulfidischen Vererzung im Freiburger Graugneis zu bestimmen.

2.2 Versuchaufbau

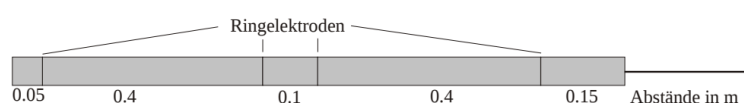


Abb. 3: Aufbau der Bohrlochsonde

Auf der verwendeten elektrischen Bohrlochsonde (Abbildung 3) sind 4 Ringelektroden in unterschiedlichen Abständen angebracht. Mit dieser Sonde lassen sich die in Tabelle 9 dargestellten vier Konfigurationen realisieren. Für die Messung wird die Sonde erst bei 80 cm beginnen und alle 30 cm die Daten für die vier Anordnungen aufnehmen. Als Messgerät wird die Geoelektrikapparatur Terrameter verwendet.

2.3 Auswertung

2.3.1 Konfigurationsfaktor k

An jedem Messpunkt erfolgt die Einspeisung eines wählbaren, konstanten Stromes I und die Messung des Spannungsabfalls ΔU . Der Ohmsche Widerstand ergibt aus $R = \frac{\Delta U}{I}$ und nach Neumanische Formel wird der scheinbarer spezifischer Widerstand durch $\rho_s = Rk$ und der Konfigurationsfaktor im Vollraum wird durch

$$k = 4\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

Für die vier Anordnungen (s. Tabelle 9), die für den Versuch verwendet werden, sind folgende Konfigurationsfaktoren zu verwenden.

Nr.	Konfiguration	k
I	Kleine Normale	$k = \frac{\pi}{2}$
II	Schlumberger	$k = 4\pi$
III	Gradientsonde (OK)	$k = 8\pi$
IV	Gradientsonde (UK)	$k = 8\pi$

Tab. 9: Konfigurationsauswahl am Schaltkasten

2.3.2 Messdaten

Die gemessenen Daten werden im Matlab mit Angaben der Koordinaten abgelesen und graphisch dargestellt und den Verlauf der Widerstände für die vier Konfigurationen ausgewertet. Die vier Konfigurationen (kleine Normale, Schlumberger, Gradientsonde (OK) und Gradientsonde (UK)) in der Tiefe von etwa 10 m zeigen wo sich die Vererzungszone befindet und den approximierten Wert des Widerstandes.

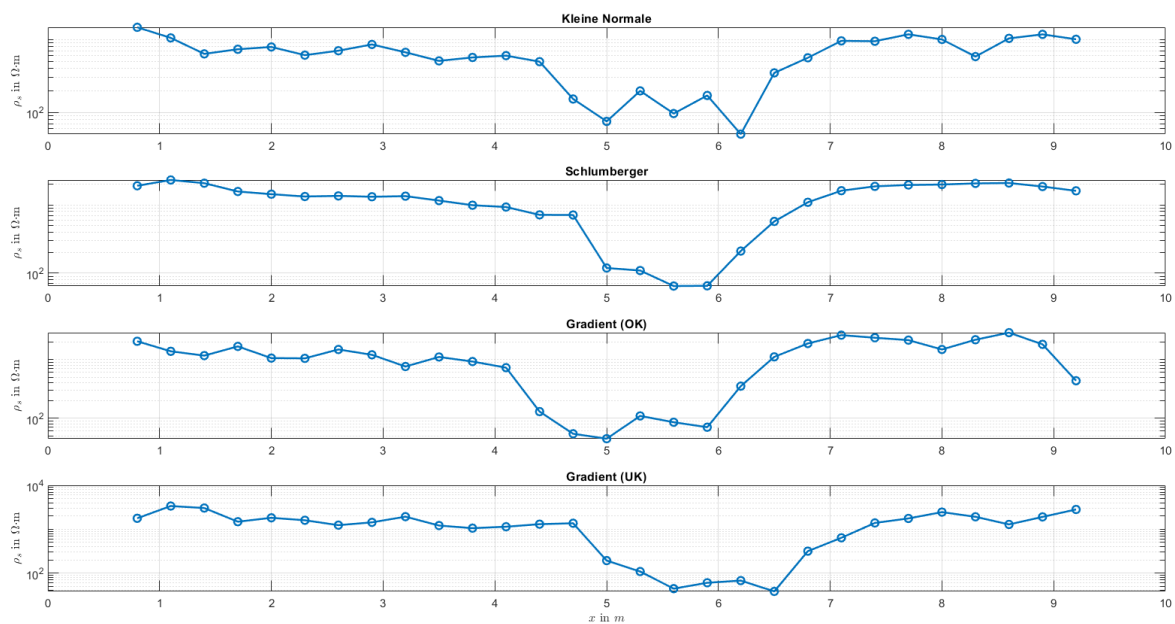


Abb. 4: Messdaten

Gradientensonden und Schlumbergeranordnung

Aus den Ober- und Unterkanten Gradienten wird einen Mittelwert ermittelt und dies ergibt wie erwartet die Schlumberger Anordnung wie in der Abbildung zu beobachten ist.

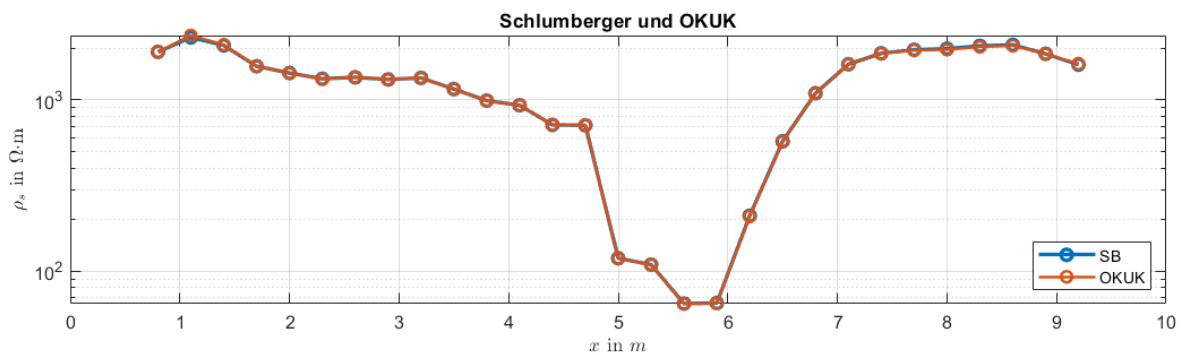


Abb. 5: Gradient und Schlumberger

2.3.3 Synthetische Daten

Unter Verwendung gleicher Koordinaten (0,8 m-9,2 m à 30 cm) und spezifischer Widerstände (Umgebungs- und Erzwiderstand aus gemessenen Daten) werden die synthetischen Daten berechnet und mit den gemessenen graphisch dargestellt und verglichen.

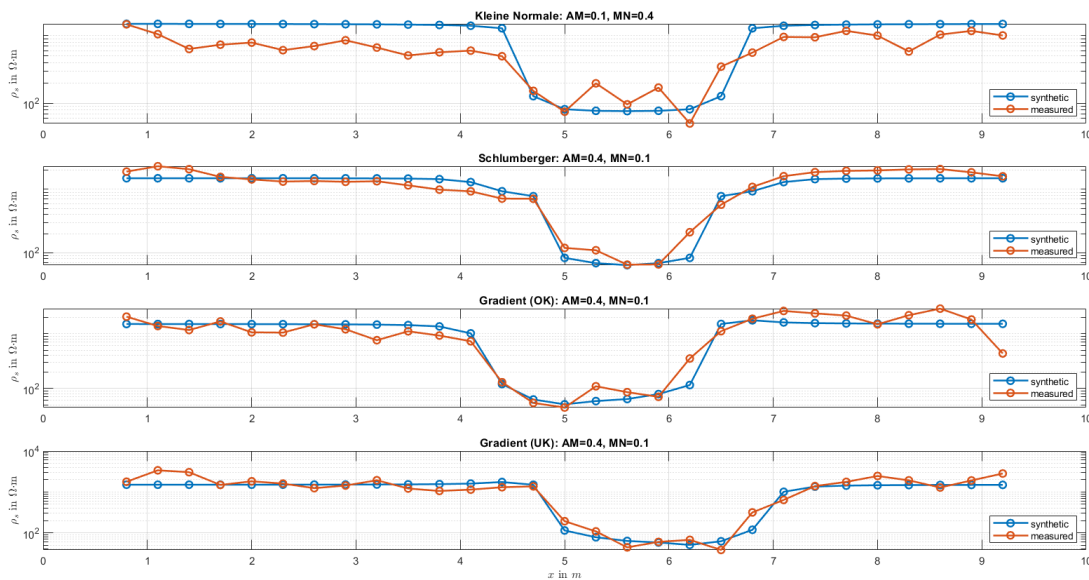


Abb. 6: Vergleich der gemessenen und berechneten Daten

2.4 Ergebnisse

Die gemessenen und berechneten Daten werden zusammen geplottet (s. Abb. 6) und es ist zu sehen, wie genau das Modell die gemessenen Daten wiedergibt und damit kann der Widerstand für das gesuchte Gebiet bestimmt werden. Aus den gemessenen bzw. berechneten Daten z.B. bei Schlumbergeranordnung ist zu beobachten, dass der elektrische spezifische Widerstand des Freiburger Gneis etwa $1500 \Omega \cdot m$ und der sulfidischen Vererzungszone $60 \Omega \cdot m$ bei einer Mächtigkeit von 1,8 m beträgt. Die Vererzungszone liegt zwischen 4,7 m und 6,5 m vom Bohrlochmund und dies ist zu beobachten, wenn die Differenz der gemessenen und berechneten Daten bestimmt wird und diese zeigt eine niedrigere Abweichung bei der gutleitenden Vererzungsschicht. Die größeren Werte am Anfang und Ende können durch Inhomogenität des Gesteins erklärt werden und ab 8,6 m wächst wieder die Leitfähigkeit (gemessene Daten in der Schlumbergeranordnung und Gradientensonde OK), was den Beginn einer anderen gut leitenden Schicht deuten kann.

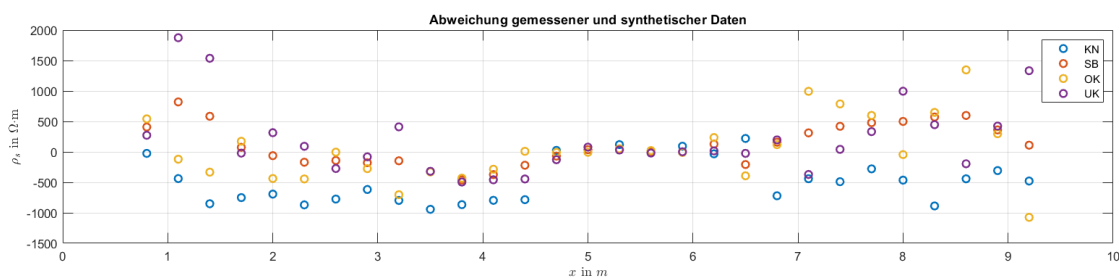


Abb. 7: Abweichung der gemessenen und berechneten Daten bei der Schlumbergeranordnung

3 Hammerschlagseismik

3.1 Aufgabenstellung

Am BHMZ ist der Erzgang mittels Hammerschlagseismik (Refraktionsseismik) zu ermitteln und die Ergebnisse als Geschwindigkeitsmodell darzustellen.

3.2 Versuchaufbau und Durchführung

Am BHMZ -Versuchstand werden 80 Punkten für Quellen und 80 für Empfänger gewählt. Für den Aufbau der Messungen stehen 24 Geophonen zur Verfügung. Die Messungen werden in verschiedenen Auslagen durchgeführt, in dem für jede Auslage 80 Schüsse gemacht werden. Aus den 80 markierten Empfängerkoordinaten werden drei Auslagen à 24 Geophones und eine mit 8 Empfänger aufgebaut. Die Messungen werden in dreier Teams durchgeführt, indem ein Teammitglied die Datenqualität kontrolliert und Anmerkungen in das Feldbuch schreibt, der zweite das Kabel für den Hammer hält und versichert, dass der dritte die Schusspunkte richtig trifft. Nach der Messung baut die Gruppe Geophone ab und baut in der nächsten Auslage wieder auf.

Für die seismische Registrierung wird eine Digitalapparatur von Geometrics (Geometrics Geode) angewendet. Als Empfänger werden Geophonen (Eigenfrequenz = 4,5 Hz) eingesetzt. Die Energieanregung erfolgt mit Hilfe des Hammerschlages. Der Beschleunigungssensor befindet sich am Hammer und der Registrierungsvorgang erfolgt, wenn der Hammer auf den markierten Punkten am Gestein trifft. Die Geophone werden mit einem Seismographen und dem entsprechenden Feldnotebook durch einen Datenkabel verbunden. Wenn die seismischen Wellen an den Geophonpunkten eintreffen, wird in den Geophonen durch die Bodenbewegung eine Spannung induziert. Die Stromversorgung der Apparatur wird über eine Batterie gewährleistet.

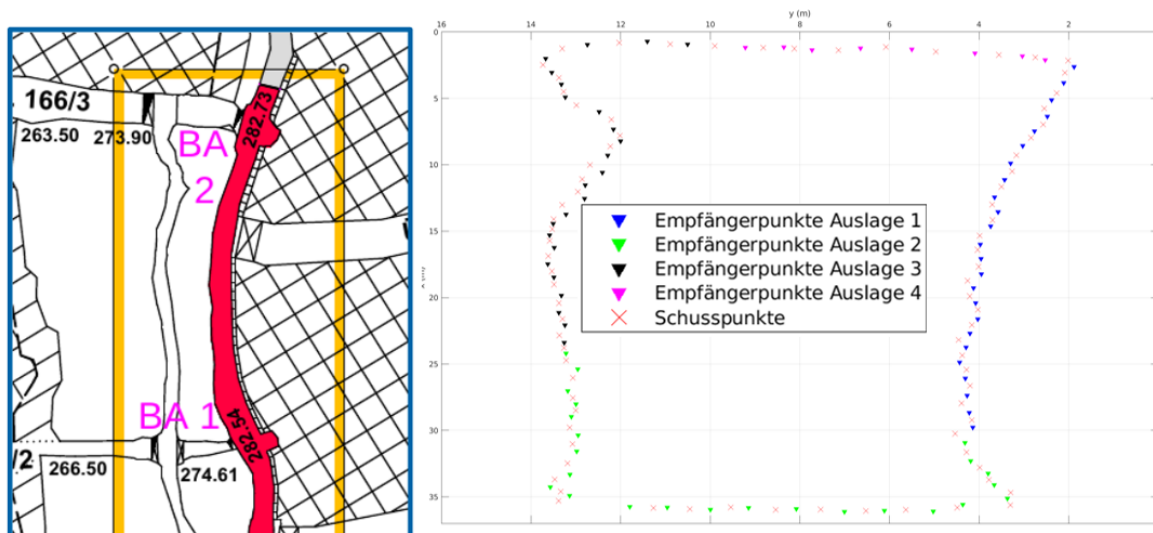


Abb. 8: Lage des Versuchs

3.3 Datenbearbeitung und Inversion

Nach der erfolgreiche Durchführung, folgt die Datenbearbeitung im Seismik Unix und Matlab.

3.3.1 Aussortierung und Picken der Erseinsätze

Die Daten werden in einer su-Datei gespeichert, die aber für die Bearbeitung gespaltet werden sollte. Für das Aufsplitten der Dateien wird das Seismic Unix Befehl *susplit* mit *key = fldr* verwendet, damit die Dateien nach Schüssen zugeordnet werden können. Als nächstes werden die Daten aussortiert mithilfe der Feldbücher, die für jede Gruppe zur Verfügung gestellt wird. Test- und Fehlschüsse und Triggerfehler werden dabei entfernt und nur die, mit besserer Qualität, werden weiter bearbeitet. Für jeden Schusspunkt sind drei Schüsse geplant, aber aufgrund der Komplexität am Versuchstand, werden manchmal mehr Schüsse gemacht als die geplanten drei, was zu einer Notwendigkeit der Aussortierung der Schüsse mit besserer Qualität zu entsprechenden Koordinaten führt. Nach der Aussortierung werden die Spuren zusammengestapelt mit dem Befehl *susum*, wobei diese zweimal durchlaufen sollte, da das nur zwei Dateien stapeln kann. Nach der Stapelung werden die Erseinsätze gepickt und zu den entsprechenden Koordinaten zugeordnet. Für jede Auslage sind 80×24 Punkten zuzuordnen, mit Ausnahme der zweiten Auslage, wo 79 Schüsse gibt und 4. Auslage mit 8 Empfänger. Nach der Zuordnung werden die negativen Zeiten mit entsprechenden Koordinaten gelöscht und die übrig gebliebenen werden für die Inversion in Matlab eingelesen.

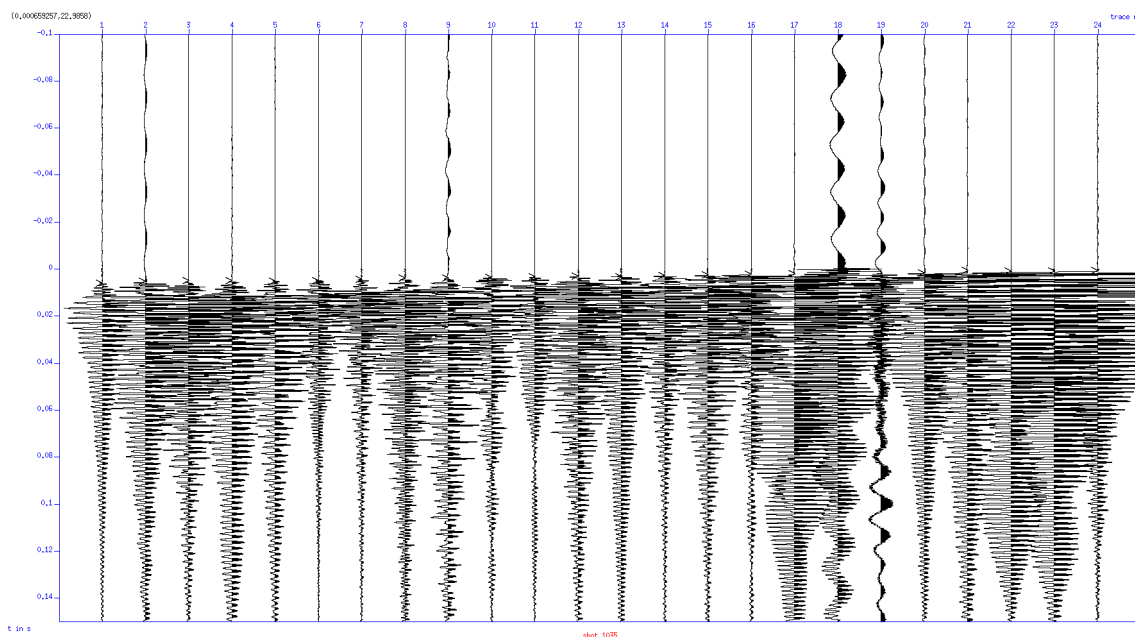


Abb. 9: Beispiel der gepickten Erseinsätze.

3.3.2 Lineare Laufzeitinversion

Überdeckungsschema

Die gepickten Laufzeiten und entsprechenden Koordinaten werden nun in Matlab eingelesen und diese für die Überdeckung und Inversion verwendet. Für jede Auslage wird eine Überdeckungsschema dargestellt. Und dies fokussiert die Stellen, wo sich die Empfänger befinden.

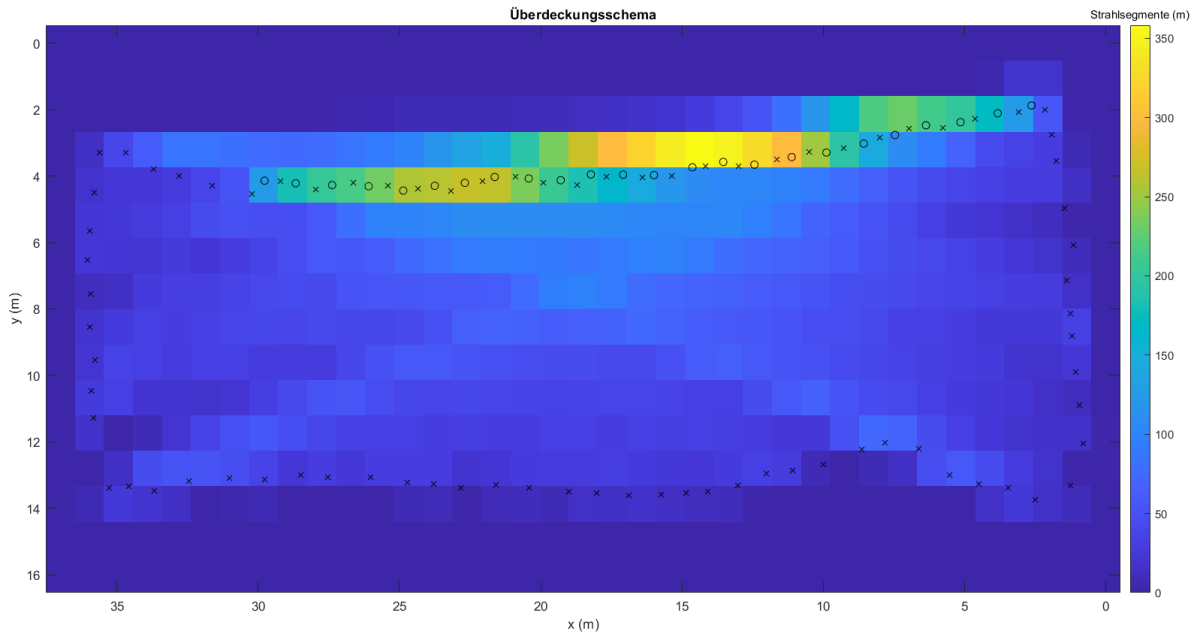


Abb. 10: Überdeckungsschema der Auslage 1

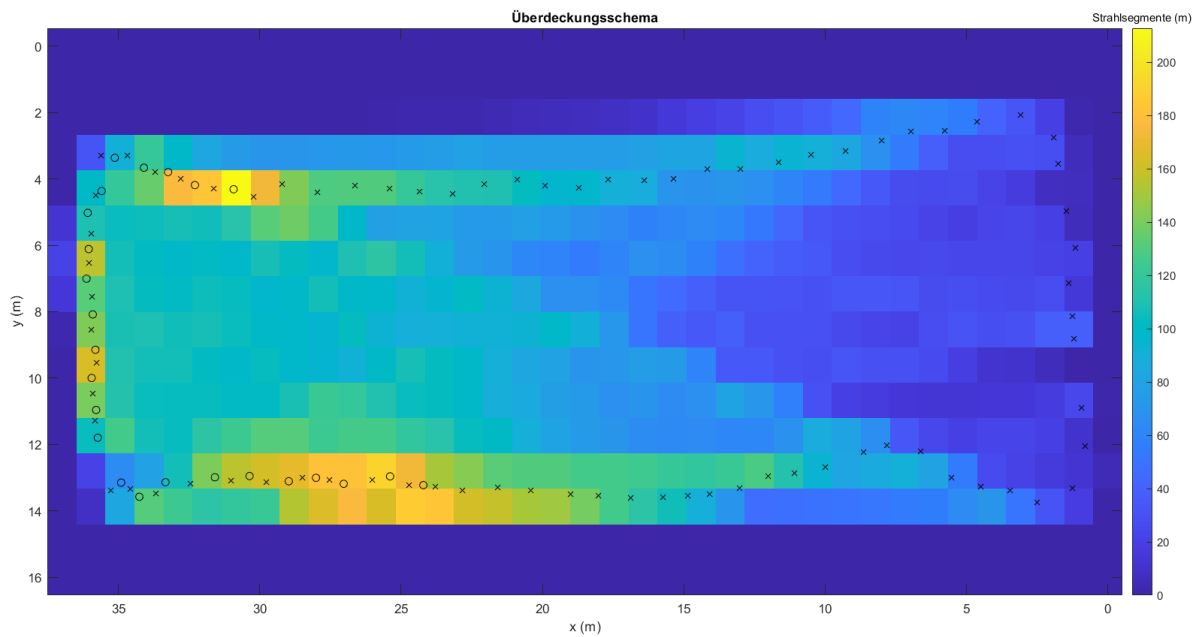


Abb. 11: Überdeckungsschema der Auslage 2

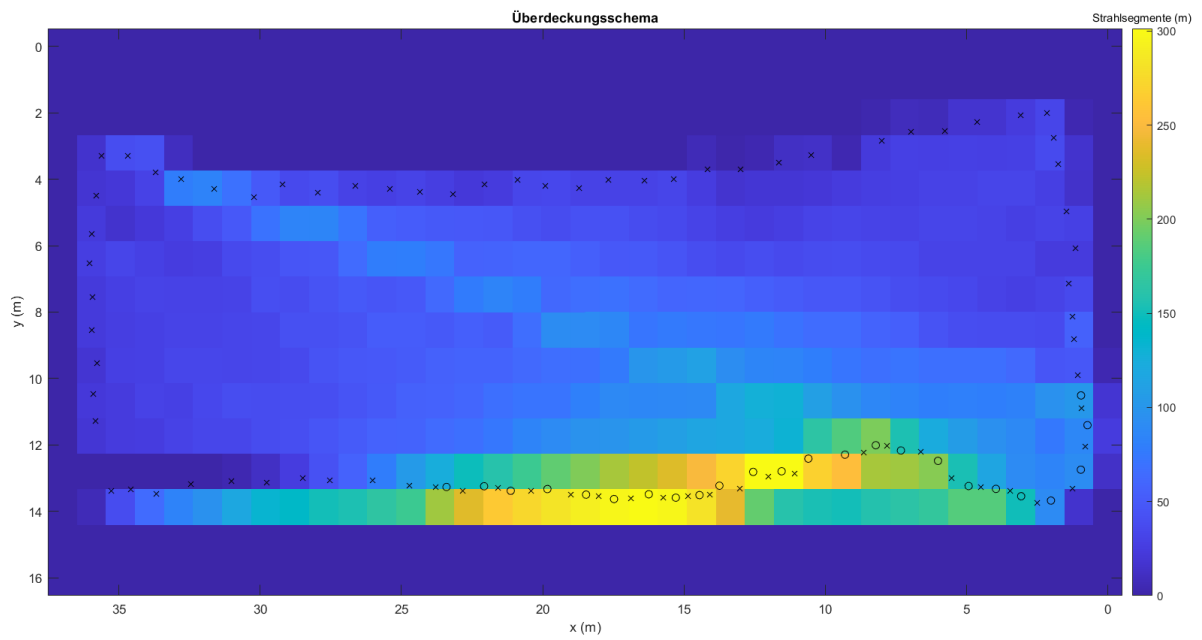


Abb. 12: Überdeckungsschema der Auslage 3

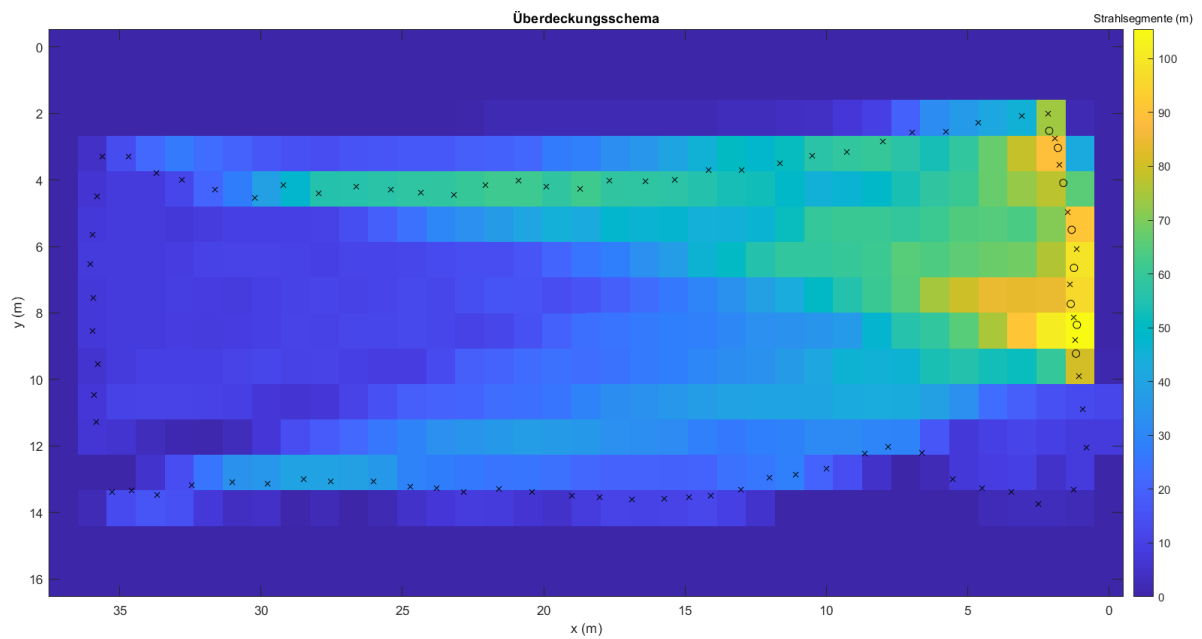


Abb. 13: Überdeckungsschema der Auslage 4

Inversionsergebnisse

Die vier Auslagen werden zusammengestellt und eine allgemeine Überdeckungsschema (s. Abb. 14) gebildet, die dann für die Inversion verwendet wird. Abb. 15 zeigt das Inversionsergebnis für einen $\lambda = 10000$ für den gepickten Ersteinsätze.

3.4 Diskussion und Fehlerbetrachtung

Aus den Ergebnissen der gepickten Ersteinträge wird nun ein Geschwindigkeitsmodell bestimmt und diese mit einem nahezu passenden $\lambda = 10000$ geplottet. Das Ergebnis deutet den Verlauf des Erzgangs in der markierten Stelle (s. Abb. 15). Allerdings sind links in der Auslage 2 die meisten Stellen mit niedrigen Geschwindigkeiten, die von den gepickten Laufzeiten und Qualität der Daten abhängen könnte. Dies lässt sich aufgrund der Ungenauigkeit der Picks abschätzen, die bei etwa 0,2 ms liegt.

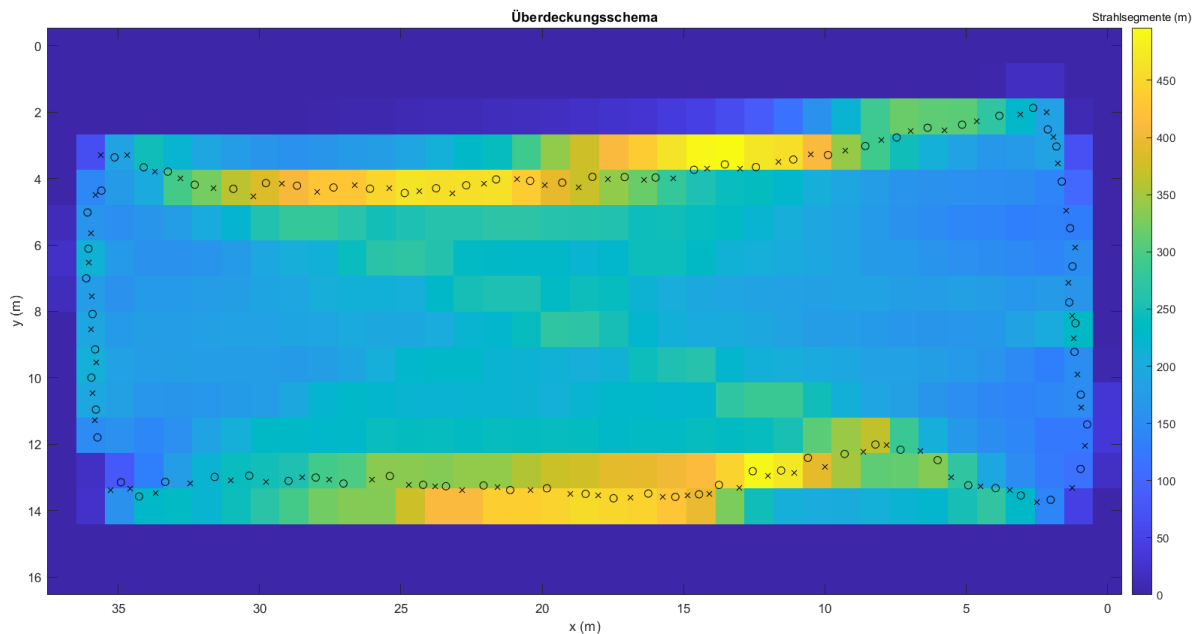


Abb. 14: Überdeckungsschema von allen Auslagen

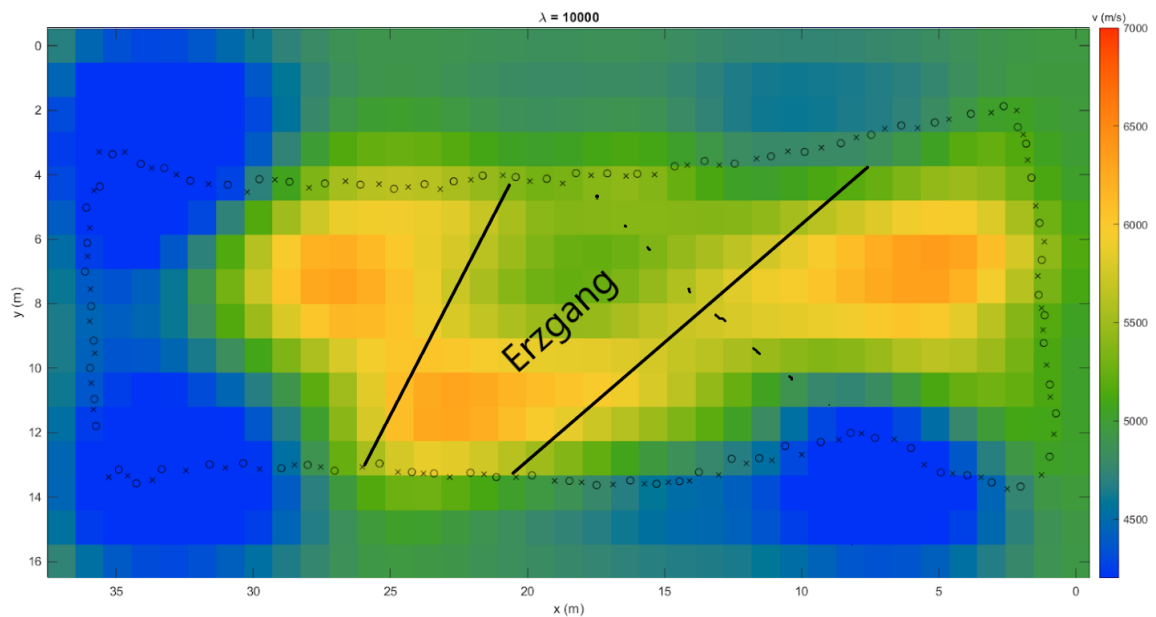


Abb. 15: Erzgang am BHMZ

Bei einem Schuss-Empfängerpaar, z.B. Schuss 30 und Empfänger 17 aus der Gruppe 2 (x_t, y_t) = (35.79, 4.48) und (x_r, y_r) = (31.58, 12.98), was einen Abstand von 9,48 m ergibt und die abgelesene Laufzeit von 0,001 649 s, liegt die Geschwindigkeit bei 5750 m s^{-1} . Bei einer Pickungenaugigkeit von 0,2 ms, liegt der Fehler bei etwa 11 %. D.h. bei einer Verzögerung von 0,2 ms liegt die Geschwindigkeit bei etwa 5128 m s^{-1} .

Ein Triggerfehler kann diese Laufzeit fälschlicherweise verkürzen oder verlängern, was zu einer falschen Geschwindigkeitsbestimmung führt. Z.B. die oben bestimmte Geschwindigkeit und diese könnte bei viele Stelle der Fall gewesen sein, insbesondere in der Auslage 2, wo sich niedrigere Geschwindigkeiten zu beobachten sind.

Bei einer Abweichung von 50 cm von den markierten Schusspunkten, weicht das Geschwindigkeitsmodell um bis zu 5 %, wobei diese bei zweiten Auslage größeren Einfluss hat. Diese Abweichung werden z.B. durch Leitungen, die sich am Versuchstand befinden, verursacht und andererseits ist die Lage des markierten Punkten am Gestein, was schwer zu treffen war. Im Allgemeinen kann den möglichen Verlauf des Erzgangs mit den Daten bestimmt werden. Allerdings, ist in der Abbildung 15 zu sehen, dass eine andere Zone gibt, die auch von großer Bedeutung sein könnte.

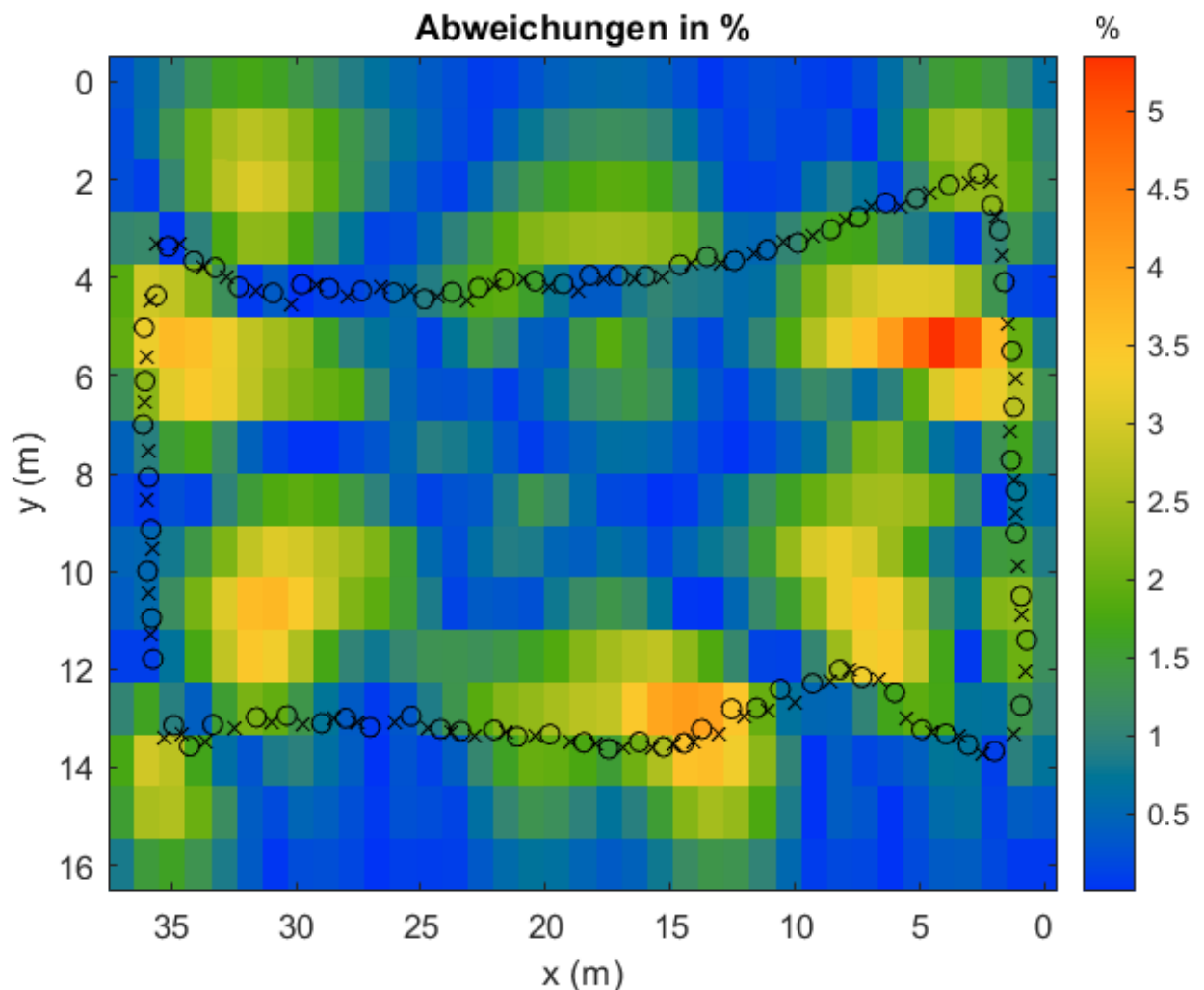


Abb. 16: Fehlerbetrachtung