

# **Geophysikalische Geländeübungen**

## **SS 2018**

### **Geoelektrik**

**Messgebiet A59/1 (Riedheim)**

Svenja Müller  
mueller-svenja@gmx.net

und

Lea Stockmeier  
lea.stockmeier@web.de

Betreuer: Eva Schroth und Fabian Kühn

20. Juni 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1 Schlumberger-Anordnung . . . . .	3
2.2 Wenner-Kartierung . . . . .	3
2.3 Geoelektrische Tomographie . . . . .	4
2.4 Spezifischer Widerstand und Geometriefaktor . . . . .	4
<b>3 Versuchsbeschreibung</b>	<b>5</b>
3.1 Wenner-Kartierung . . . . .	6
3.2 Tomographie . . . . .	6
3.3 Schlumberger-Sondierung . . . . .	7
<b>4 Auswertung</b>	<b>8</b>
4.1 Wenner-Kartierung . . . . .	8
4.2 Tomographie . . . . .	9
4.3 Sondierung . . . . .	10
4.4 Sondierung . . . . .	12
<b>5 Fehlerbetrachtung</b>	<b>14</b>
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>16</b>
<b>Anhang</b>	<b>17</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>22</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung der Schlumberger-Anordnung . . . . .	3
2.2	Schematische Darstellung der Schlumberger-Anordnung . . . . .	3
3.1	Profile der Geoelektrik, Gravimetrie und Magnetik des Messgebiets am Basaltgang . . . . .	5
3.2	Profil E11-E12 und E21-E22 auf den beiden Messgebieten . . . . .	6
4.1	Diagramm unserer Ergebnisse der Wenner-Kartierung. Der gemessene spezifische Widerstand ist gegen den Abstand zu unserem gewählten Null-Punkt aufgetragen. Der Nullpunkt wurde so gewählt, dass er mit dem Nullpunkt der Tomographie übereinstimmt . . . . .	9
4.2	Tomographie Modell. Als Anfangspunkt der Messung wurde das obere Ende der Profillinie gewählt. . . . .	10
4.3	Inversionsmodell mit drei Schichten . . . . .	11
4.4	Datem zum Inversionsmodell mit drei Schichten. <i>roh</i> bezeichnet den spezifischen Widerstand in $\Omega\text{m}$ , <i>h</i> die Schichtdicke in m, <i>d</i> die Schichttiefe in m . . . . .	11
4.5	Inversionsmodell mit fünf Schichten . . . . .	12
4.6	Datem zum Inversionsmodell mit fünf Schichten. <i>roh</i> bezeichnet den spezifischen Widerstand in $\Omega\text{m}$ , <i>h</i> die Schichtdicke in m, <i>d</i> die Schichttiefe in m . . . . .	12
.1	Messprotokoll 1 der Schlumberger-Sondierung . . . . .	17
.2	Messprotokoll 2 der Schlumberger-Sondierung . . . . .	18
.3	Beschreibung der Tomographie . . . . .	19
.4	Messprotokoll 1 der Wenner-Karierung . . . . .	20
.5	Messprotokoll 2 der Wenner-Karierung . . . . .	21

# Tabellenverzeichnis

4.1	Abstände von allen gefundenen Stufen in den Plots aus Abb. ?? . . .	13
-----	---	----

# 1. Einleitung

Die Geoelektrik-Messungen wurde am dritten Messtag, dem 24.05.2018, in Riedheim durchgeführt.

Die Profile waren in den gleichen Messgebieten wie die der anderen Messdurchführungen, um sie vergleichen zu können. Unsere Fragestellungen waren folgende:

Die Kartierung und Tomographie wurde im Messgebiet mit dem Basaltgang durchgeführt. Wir wollen herausfinden, ob der Gang mit diesen Messmethoden lokalisierbar ist und wenn ja wie gut. Die Ergebnisse sollen mit den Ergebnissen der anderen dort angewendeten Methoden verglichen werden.

Die Sondierung wurde entlang des gleichen Profils wie eine Seismik-Messung durchgeführt. Hier ist unsere Fragestellung, ob mit beiden Methoden gleiche Schichtgrenzen gefunden werden können. Dies geht jedoch nur mit der Annahme, dass eine Änderung der seismischen Geschwindigkeiten einhergeht mit einer Änderung der Leitfähigkeit.

## 2. Theoretische Grundlagen

Mit geoelektrischen Messungen werden Materialeigenschaften wie die Ionenkonzentration, Grad der Wassersättigung und der Permeabilität untersucht. Das bedeutet, dass mit Hilfe dieses Verfahrens z.B der Grundwasserspiegel bestimmt werden kann.

Bei den Messmethoden wird zwischen aktiven und passiven Verfahren unterschieden. Da sowohl bei der Schlumberger-Sondierung als auch bei der Wenner-Kartierung eine Spannung angelegt wird, werden die beiden Verfahren zu den aktiven Messmethoden gezählt.

Während der Geländeübung werden die Messungen mit dem Wechselstromverfahren durchgeführt. Dabei wird an zwei Elektroden Wechselstrom angelegt, über zwei Sonden an der Oberfläche wird die Spannung gemessen. Mit diesem Verfahren wird also die Materialeigenschaft, elektrischen Strom zu leiten, untersucht.

Hierbei unterscheidet man zwischen elektrischer Leitfähigkeit, wenn Elektronen bewegt werden, und ionischer Leitfähigkeit, dem Transport von Ionen. Aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit können z.B Metallrohre im Boden lokalisiert werden. Ionische Leitfähigkeit tritt in Gesteinen und Lockersedimenten auf, die einen entsprechenden Wassergehalt haben.

Als Materialeigenschaft wird der spezifischen Widerstand

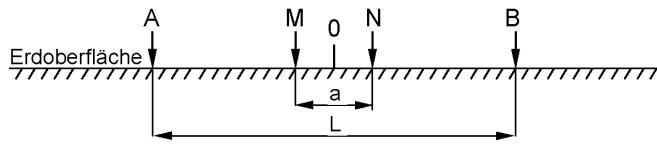
$$[\rho] = 1 \Omega \text{m}$$

bestimmt. Er ist der Kehrwert der Leitfähigkeit  $\sigma$ . Je nach Material und Wassergehalt variieren diese Werte. Es wird ein Strom in die Erde eingespeist und anhand des Spannungsabfalls, der mit Hilfe der Sonden gemessen wird, wird auf den Widerstand der stromdurchflossenen Materialien geschlossen. Während der Geländeübung wird ein Basaltgang untersucht. Basalt hat einen relativ hohen spezifischen Widerstand, sodass er durch ein Ansteigen von  $\rho$  lokalisiert werden kann.

Die Formeln und Methodenbeschreibungen wurden in [FAG<sup>+</sup>18] nachgelesen.

## 2.1 Schlumberger-Anordnung

Die Schlumberger-Anordnung wird in der Geländeübung zur Sondierung verwendet. Es wird die Änderung des spezifischen Widerstands in den verschiedenen Schichten des Untergrunds unter einem bestimmten Punkt bestimmt. In Abbildung 2.1 ist die Schlumberger-Anordnung schematisch dargestellt. Der Ort, an dem gemessen wird, ist der Mittelpunkt der Anordnung. Um in verschiedenen Tiefen Messwerte zu erhalten wird der Abstand zwischen den Elektroden und den Sonden jeweils symmetrisch erhöht. Sinnvoll ist es, den Abstand exponentiell zu erhöhen und ein Profil mit möglichst wenig Topographie zu wählen.

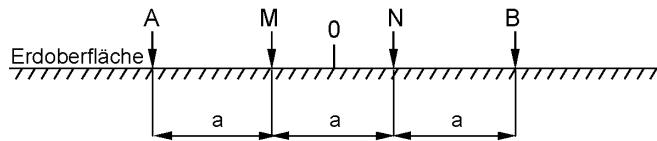


**Abbildung 2.1:** Schematische Darstellung der Schlumberger-Anordnung

Beim Stecken der Stromelektroden ist es wichtig eine möglichst große Kontaktfläche zu haben, da es an diesen zu Kontaktwiderstand kommt. Eine große Kontaktfläche erreicht man, indem man die Stromelektroden möglichst tief in die Erde steckt. Das gleiche gilt natürlich für die Wenner-Kartierung.

## 2.2 Wenner-Kartierung

In Abbildung 4.1 ist der schematische Aufbau der Wenner-Anordnung zu sehen. Bei **A** und **B** sind die Elektroden und bei **M**, **N** die Sonden zur Spannungsmessung.



**Abbildung 2.2:** Schematische Darstellung der Schlumberger-Anordnung

Bei der Wenner-Kartierung werden die Abstände zwischen den Elektroden konstant gehalten und die ganze Anordnung wird über den Boden verschoben. Somit wird in einer Tiefe an verschiedenen, horizontal versetzten Punkten im Untergrund gemessen. Der Abstand  $a$  der Elektroden entspricht auch der Tiefe, in der die Messung durchgeführt wird. Hierbei muss aber bedacht werden, dass oben liegende, sehr gut leitende Schichten den Strom bündeln und somit zu einem verfälschten Messergebnis führen können.

## 2.3 Geoelektrische Tomographie

Die Tomographie ist eine Mischung aus der Wenner-Kartierung und Schlumberger-Sondierung. Die Wenner-Kartierung wird praktisch in verschiedenen Tiefen durchgeführt und über eine Profil bewegt, dadurch wird ein zweidimensionales Bild des Untergrunds erstellt. Mit Hilfe eines Computerprogramms kann durch Inversion der gemessenen Werte ein Modell für die Verteilung des spezifischen Widerstands im Untergrund erstellt werden.

## 2.4 Spezifischer Widerstand und Geometriefaktor

Die Potentialdifferenz bei einem angelegten Strom  $I$  ist

$$V = \rho I \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{MB}} + \frac{1}{r_{NB}} - \frac{1}{r_{AN}} \right), \quad (2.1)$$

wobei mit  $r_{AM}$  usw. jeweils die Abstände zwischen den Sonden und Elektroden, wie in Abbildung 4.1 zu sehen, bezeichnet werden. Um den spezifischen Widerstand leichter berechnen zu können, wird der Geometriefaktor

$$F = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{MB}} + \frac{1}{r_{NB}} - \frac{1}{r_{AN}}}$$

eingeführt. Damit lässt sich  $\rho$  berechnen mit

$$\rho = \frac{V}{I} F. \quad (2.2)$$

### Scheinbarer spezifischer Widerstand

Ist der Untergrund nicht homogen, wird der Wert der Formel 2.4 als scheinbarer spezifischer Widerstand bezeichnet. Der Geometriefaktor hängt nur von der geometrischen Anordnung ab und nicht von der Leitfähigkeit des Untergrunds, weshalb der scheinbare spezifische Widerstand  $\rho_a$  nur im Falle eines homogenen Untergrunds gleich dem spezifischen Widerstand ist.

Im Falle der Wenner-Anordnung wird der scheinbare spezifische Widerstand mit der Formel

$$\rho_a = 2\pi \frac{V}{I} a$$

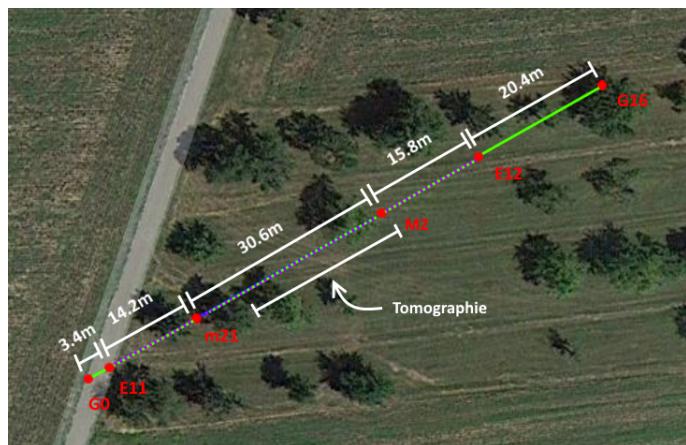
berechnet. Bei einer Messung wird versucht, durch Interpretation der gemessenen scheinbaren Widerstände den spezifischen Widerstand zu finden.

### 3. Versuchsbeschreibung

In der Geoelektrik wurden drei verschiedene Messmethoden verwendet. Das sind die Wenner-Kartierung, Schlumberger-Sondierung und die Tomographie. Sowohl die Wenner-Kartierung als auch die Tomographie wurde über dem Basaltgang durchgeführt, um diese Messmethode mit den übrigen vergleichen zu können.

In Abbildung 3.1 sind die Profile der Wenner-Kartierung und Tomographie abgebildet. Die Wenner-Kartierung wurde entlang E11-E12 durchgeführt und das Profil der Tomographie ist in dieser Abbildung beschriftet. Zu sehen ist, dass das Profil der Geoelektrik über dem Profil der Magnetik und Gravimetrie liegt. Dadurch kann man direkt die Messergebnisse vergleichen und eventuell sehen, welche Methode sich zum Untersuchen des Basalts eignet und welche nicht.

Die Schlumberger-Sondierung wurde auf dem gleichen Profil wie die Seismik-Messung mit Sissy durchgeführt, um die beiden Messungen vergleichen zu können. Dieses Profil ist das obere Profil E21-E22 in Abbildung 3.2.



**Abbildung 3.1:** Profile der Geoelektrik, Gravimetrie und Magnetik des Messgebiets am Basaltgang. Die Graphik wurde von Rebekka Kirchgässner und Luisa Rank übernommen.



**Abbildung 3.2:** Profil E11-E12 und E21-E22 auf den beiden Messgebieten. Die Graphik wurde von Rebekka Kirchgässner und Luisa Rank übernommen.

### 3.1 Wenner-Kartierung

Begonnen wurde mit der Wenner-Kartierung, um die Lage des Basaltgangs genauer zu bestimmen. Damit wir die Tomographie möglichst genau über dem Gang durchführen können. Des weiteren soll eingeschätzt werden, wie gut diese Methode zum Vermessen des Basaltgangs geeignet ist.

Die Kartierung wurde in einer Tiefe von 5 m vorgenommen. Dies ist begründet mit der Annahme, dass der Basaltgang vermutlich in ca. 1-2 m Tiefe beginnt und nach unten als unendlich angenommen werden kann. Je mehr Basalt im Bereich der Messung ist, desto größer ist die Auswirkung auf die Ergebnisse. Die Anordnung ist orthogonal zum Basaltgang und wird auch orthogonal dazu verschoben. Orientiert wurde sich dabei an der Messung von Magnetik, es wurde entlang des Magnetik-Profil M2-M21 gemessen. Dabei wurde darauf geachtet, dass auch eine Messung komplett außerhalb des Einflussbereichs des Basalt liegt.

### 3.2 Tomographie

Die Tomographie ist eine Kombination der ersten beiden Messmethoden. Sie wurde auf dem gleichen Profil wie die Wenner-Kartierung durchgeführt. Es wurden 48 Elektroden verwendet, die in einem Abstand von 50 cm, auf der gleichen Messlinie wie bei der Wenner-Kartierung aufgestellt waren. Die Mitte der Messlinie wurde auf einen Punkt gesetzt, an dem auch die Mitte des Basaltgangs vermutet wurde. Insgesamt wurde also auf einer Länge von 24 m gemessen. Als 0-Punkt für die Messung wurde das obere Ende des Messbands festgelegt. Nachdem die Elektroden aufgestellt und angeschlossen wurden, wurde die Messung automatisch mit einem Messgerät ausgeführt. Auf das Ergebnis musste ungefähr eine Stunde gewartet werden.

### 3.3 Schlumberger-Sondierung

Sie Schlumberger-Sondierung wurde nicht auf dem Messgebiet über dem Basaltgang vorgenommen, sondern auf einer Wiese wesentlich weiter oben. Auf dieser Wiese wurde bereits mit der Seismik gemessen. Um unsere Ergebnisse von der Seismik-Messung und dieser Messung vergleichen zu können, wurde die Messung entlang der gleichen Linie durchgeführt.

Da wir kein sehr großes, gerades Gelände hatten und auch mit der Seismik in keinen großen Tiefen gemessen wurde, betrug die Länge des Profils 200 m. Als Mitte haben wir den Punkt des Mittelschusses der Hammerschlag-Methode (Seismik) verwendet. In der Mitte des Profils haben wir angefangen, die Elektroden zu stecken. In beide Richtungen haben wir den Abstand exponentiell vergrößert. Die genauen Abstände kann man dem Messprotokoll dieser Messung im Anhang entnehmen.

# 4. Auswertung

## 4.1 Wenner-Kartierung

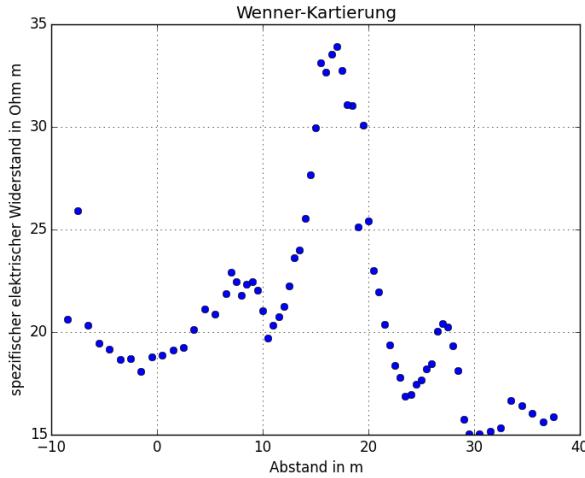
Die Wenner-Kartierung wurde auf einem 46 m langen Profil, E11-E12, senkrecht zum Basaltgang durchgeführt. In Tabelle 4.1 sind die gemessenen Werte des spezifischen Widerstands mit dem entsprechenden festgelegten Abstand zu sehen. Die Abstände der Messpunkte sind in der Mitte den Profils kleiner gewählt als Außen, da wir dort den Basaltgang vermuten. Aus den Messergebnissen der Magnetik-Messung könnte schon sehr genau abgeschätzt werden wo der Basaltgang liegt.

In Abbildung 4.1 sind die Messergebnisse graphisch dargestellt. Wir gehen davon aus, dass der Basalt eine andere Leitfähigkeit hat als das Umgebungsmaterial und sich die Magnetischen-Eigenschaften und elektrische Leitfähigkeit gleichzeitig ändern. Das ist die Voraussetzung, dass wir mit Hilfe unserer Ergebnisse aus der Magnetik unser Profil für die Geoelektrik festlegen können und in beiden Versuchen ähnliche Ergebnisse erhalten.

Die in Tabelle 4.1 dargestellten Werte sind in Diagramm 4.1 graphisch dargestellt. Die Werte in Tabelle 4.1 sind bereits die spezifischen Widerstände, die wir mit Hilfe der Formel ?? aus Kapitel 1 und den Werten der Tabellen .4 und .5 berechnet haben. Deutlich zu sehen ist ein Maximum des spezifischen Widerstands in der Mitte des Diagramms 4.1. Dies weist darauf hin, dass der Basaltgang wie vermutet in der Mitte unseres Profils liegt.

Rechts und Links von dem großen Maximum sind weitere kleinere Nebenmaxima zu erkennen. Da wir den Untergrund nicht genau kennen, können wir nicht mit Sicherheit sagen, um was es sich dabei handelt. Wir vermuten, dass der Basaltgang etwas verwittert ist, sich z.B. durch Wasser Risse im Gestein gebildet haben. Hat sich nun zwischen dem Abgespalteten Basalt leitfähiges Material eingelagert, wir an diesen Stellen ein geringerer spezifischer Widerstand gemessen.

Da die Nebenmaxima nicht die gleiche Höhe haben wie das Maxima in der Mitte ist es auch wahrscheinlich dass der Basaltgang nicht nur durch Risse unterteilt ist. Wir gehen davon aus, dass das Basalt an den Rändern sehr stark verwittert Grob stimmen unsere Erkenntnisse mit denen der Magnetik überein.



**Abbildung 4.1:** Diagramm unserer Ergebnisse der Wenner-Kartierung. Der gemessene spezifische Widerstand ist gegen den Abstand zu unserem gewählten Null-Punkt aufgetragen. Der Nullpunkt wurde so gewählt, das er mit dem Nullpunkt der Tomographie übereinstimmt

## 4.2 Tomographie

In Abbildung 4.2 sind die Ergebnisse der Tomographie-Messung zu sehen. Die obere Abbildung zeigt die von uns gemessenen Werte für den scheinbaren spezifischen Widerstand. Die Inversion der Werte, also ein Modell wie der Untergrund wirklich aussehen könnte ist im unteren Diagramm zu sehen. In der Mitte ist dargestellt, welche Widerstandswerte man gemessen hätte, wenn der Untergrund dem berechneten Modell entsprechen würde.

Die beiden oberen Diagramme sind sehr ähnlich, fast identisch. Das bedeutet dass, das berechnete Modell unsere gemessenen Werte sehr gut beschreibt.

Bei dem Abstand 13 m ist eine sehr starke Anomalie von ca.  $300 \Omega\text{m}$ . Die Anomalie ist jedoch sehr klein und oberflächennah. Links davon ist eine zweite sehr deutliche Anomalie zu sehen, die, in dem gemessenen Bereich, mit zunehmender Tiefe größer wird. Der spezifische Widerstand ist hier aber nur maximal etwa  $100 \Omega\text{m}$ . Etwa 2 m entfernt von der stärksten Anomalie, bei 14 m beginnt eine dritte, oberflächennahe Anomalie.

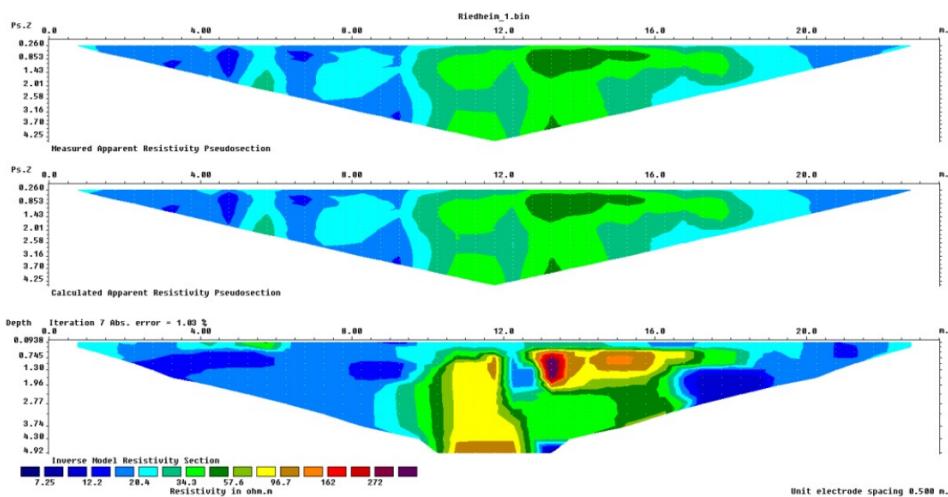
Beim Vergleich mit den Ergebnissen der Wennerkartierung finden wir große Ähnlichkeiten. Die Tomographie deutet ebenso wie die Wennerkartierung darauf hin, das der Basaltgang an der gemessenen Stelle grob in drei Teile unterteilt werden kann. Dies könnte von Karstverwitterung verursacht werden.

Allerdings sollte hier noch beachtet werden, dass die Wennerkartierung in einer Tiefe von 5 m vorgenommen wurde. Die Tomographie an ihrem tiefsten Punkt aber nur

5 m in die Tiefe geht.

Zunächst wurde vermutet, dass die starke Anomalie dem globalen Maximum der Wenner-Kartierung entspricht. In der Tomographie sehen wir aber dass, die Differenz dieser stärksten Anomalie und den Nebenmaxima fast  $200 \Omega\text{m}$  beträgt, was bei einer Skala von  $0 \Omega\text{m} - 300 \Omega\text{m}$  sehr viel ist. Wir haben vermutet, das diese Anomalie trotz der geringen Höhe die Tomographie beeinflusst.

Diese Annahme wurde überprüft, indem man die Ortsangaben der beiden Diagramme verglichen haben. Leider passt die Wennerkartierung hier nicht mehr gut zur Tomographie. Vermutlich haben die Anomalien in den oberen Schichten wirklich kaum Einfluss auf die Wennerkartierung. Da wir diese in 5 m Tiefe durchgeführt haben, und das Tomographie-Model eben hier aufhört können wir die beiden Methoden eigentlich nicht vergleichen. Was aber auch ein Interessantes Ergebniss ist, da wir nun sehen, dass die Messwerte der Wenner-Kartierung wirklich nahezu nur den spezifischen Widerstand in 5 m Tiefe wiedergeben.



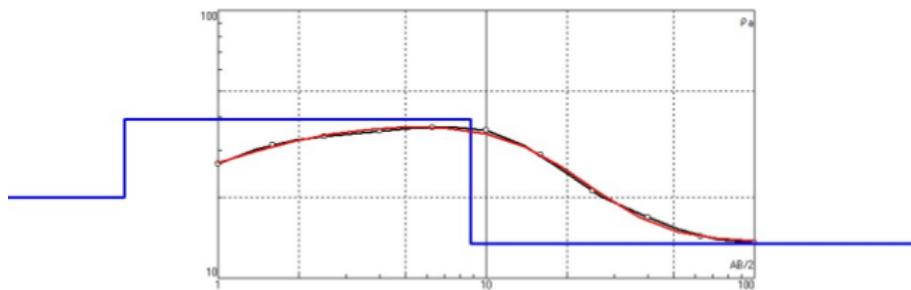
**Abbildung 4.2:** Tomographie Modell. Als Anfangspunkt der Messung wurde das obere Ende der Profillinie gewählt.

### 4.3 Sondierung

Die Sondierung wurde auf dem Profil E21-E22 durchgeführt. Die Messwerte sind im Anhang zu sehen. Aus ihnen werden mit Hilfe von dem Inversionsprogramm Ipi2win Modelle für die Schichten im Untergrund erstellt. In Abbildung 4.3 und 4.5 sind die Ergebnisse zu sehen. Die schwarze Kurve ist die Fitkurve durch unsere Messpunkte, in blau ist das Modell des spezifische Widerstands des Untergrunds dargestellt. Die rote Kurve ist der scheinbare spezifische Widerstand, der sich aus diesem Modell ergibt.

Als erstes haben wir ein möglichst genauen Model erstellt, mit der Annahme das

wir drei Schichten gegeben haben. Es müssen mindestens drei Schichten sein, da die schwarze Kurve in Abbildung 4.3 am linken Ende nach unten geht. Das Ergebnis ist in Abbildung 4.3 zu sehen. Der Fehler dieses Models lag bei unter 2%. In Abbildung 4.4 ist die dazugehörige Tabelle mit dem berechneten spezifischen Widerstand  $\rho$ , der Dicke  $h$  und Tiefe  $d$  der jeweiligen Schichten. Alle drei Werte nehmen mit der Tiefe zu, was sehr plausibel ist. Die erste Schichtgrenze ist in etwa 5 cm Tiefe und die zweite schon bei 43 cm, die dritte erst bei etwa 8 m. Diese Ergebnisse lassen sich leider nicht mit denen der Seismik vergleichen.



**Abbildung 4.3:** Inversionsmodel mit drei Schichten

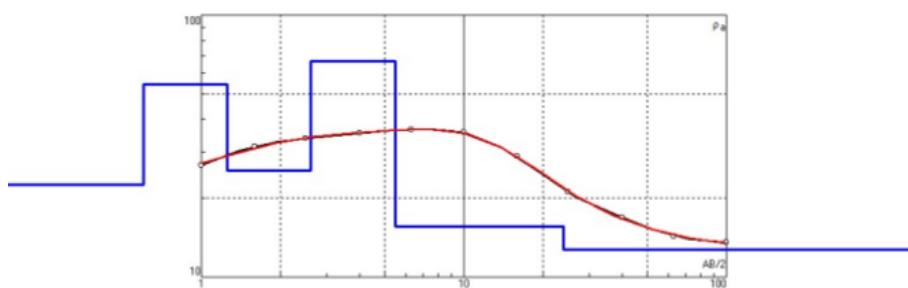
**Abbildung 4.4:** Datensatz zum Inversionsmodell mit drei Schichten.  $roh$  bezeichnet den spezifischen Widerstand in  $\Omega m$ ,  $h$  die Schichtdicke in m,  $d$  die Schichttiefe in m

Als zweites haben wir die Inversion ohne vorgegebene Maximalzahl der Schichten gemacht. Dabei wurde ein Modell mit 5 Schichten berechnet, welches in Abbildung 4.5 zu sehen ist. Die Tabelle mit den entsprechenden Werten ist in Abbildung 4.6 gegeben.

Die erste Schichtgrenze liegt bei 60 cm. Beim bohren mit Franz stießen wir in dieser Tiefe ebenfalls auf eine Schichtgrenze, zu der reinen Erde an der Oberfläche kamen viele Kieselsteine. Wenn wir davon ausgehen, dass sich damit auch die Leitfähigkeit des Untergrunds ändert, ist diese Schichtgrenze die selbe und wir haben sie durch Bohrung nachgewiesen.

In 2,62 m Tiefe haben wir eine Weitere Schichtgrenze. Interessanterweise haben wir in

der Seismik in einer Tiefe von etwa 3,4 m ebenfalls eine Schichtgrenze gefunden. Die mit der Geoelektrik bestimmte Schichtgrenze liegt also noch im Fehlerbereich dieser Schichtgrenze. Gehen wir davon aus, das sich hier die Seismischen und Geoelektrischen Eigenschaften des Untergrunds gleichzeitig ändern, haben wir mit dieser Messung das Ergebnis der Seismikmessung bestätigt. Weitere Schichtgrenzen befinden sich in 1,3 m, 5,5 m und 24 m Tiefe. Bei der 4. Schichtgrenze nimmt der spezifische Widerstand stark zu und bei der 5. Schichtgrenze sinkt sie auf einen niedrigeren Wert als den der ersten Schichten. Dies dann damit erklärt werden dass hier der Grundwasserspiegel anfängt, wodurch die elektrische Leitfähigkeit erhöht wird. Aus diesen Gründen nehmen wir an, das dieses Modell besser den tatsächlichen Gegebenheiten in Untergrund entspricht als das Modell mit nur drei Schichten.



**Abbildung 4.5:** Inversionsmodell mit fünf Schichten

N	$\rho$	h	d	Alt
1	22.51	0.6	0.6	-0.6
2	54.53	0.654	1.254	-1.254
3	25.47	1.367	2.621	-2.6207
4	66.78	2.856	5.477	-5.4772
5	15.63	18.49	23.97	-23.97
6	12.76			

**Abbildung 4.6:** Datensatz zum Inversionsmodell mit fünf Schichten. *roh* bezeichnet den spezifischen Widerstand in  $\Omega\text{m}$ , *h* die Schichtdicke in m, *d* die Schichttiefe in m

#### 4.4 Sondierung

Abstand in m	Widerstand in Ohm m	Abstand in m	Widerstand in Ohm m
0	15,873	33.5	22,438
1	15,605	34	22,927
2	16,036	34.5	21,875
3	16,431	35	20,880
4	16,658	35.5	21,110
5	15,330	36	20,109
6	15,155	36.5	19,245
7	15,029	37	19,105
8	15,044	37.5	18,882
9	15,765	38	18,774
10	18,122	39	18,104
11	19,323	40	18,712
12	20,270	41	18,659
13	20,403	42	19,165
14	20,054	43	19,466
15	18,457	44	20,332
15.5	18,217	45	25,904
16	17,687	46	20,623
16.5	17,456		
17	16,948		
17.5	16,859		
18	17,779		
18.5	18,370		
19	19,392		
19.5	20,363		
20	21,945		
20.5	23,000		
21	25,416		
21.5	30,071		
22	25,125		
22.5	31,057		
23	31,101		
23.5	32,759		
24	33,908		
24.5	33,561		
25	32,673		
25.5	33,126		
26	29,951		
26.5	27,679		
27	25,546		
27.5	24,013		
28	23,626		
28.5	22,262		
29	21,232		
29.5	20,754		
30	20,354		
30.5	19,708		
31	21,024		
31.5	22,026		
32	22,442		
32.5	22,334		
33	21,789		

## 5. Fehlerbetrachtung

Unsere Messwerte können durch viele Fehler bei der Durchführung der Messung und Auswertung beeinflusst werden. Dabei überwiegen die systematischen Fehler. So wird z.B von ebenen Schichten ausgegangen. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht gegeben. Die Messung wird auch durch viele Umwelteinflüsse beeinflusst. Dazu zählen künstliche Ströme an der Erdoberfläche oder Bäume die durch Wasserspeicher in ihren Wurzeln die elektrische Leitfähigkeit lokal erhöhen. Entlang des Profils an dem die Wennerkartierung und Tomographie durchgeführt wurde stehen sehr viele Bäume. Diese Messungen wurden also wahrscheinlich stark von diesen lokalen Wasserspeichern beeinflusst. In unseren Messwerten sind aber keine Anomalien zu erkennen, die darauf zurück zu führen wären.

Eine weitere Fehlerquelle ist das Stecken der Elektroden. Beim Stecken der Elektroden hat man sich an einem Massband orientiert. Dieses war aber über teilweise ungemähtes Gras gelegt, was sicher einen Fehler von durchschnittlich  $\pm 0,2\text{ m}$  ausmacht. Daher kann der Fehler auf die Skala des Messbands vernachlässigt werden. Mit diesem Fehler und Gaußscher Fehlerfortpflanzung

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_i \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \sigma_{x_i} \right)^2} \quad (5.1)$$

kann nun ein Fehler auf den Geometriefaktor berechnet werden. Der Geometriefaktor wird berechnet mit

$$F = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{MB}} + \frac{1}{r_{NB}} - \frac{1}{r_{AN}}} ,$$

wobei  $r_{AM} = r_{NB} = (5,0 \pm 0,2)\text{ m}$  und  $r_{AN} = r_{MB} = (10,0 \pm 0,4)\text{ m}$  ist.

Der Geometriefaktor ist  $f = 31,4 \pm 2$ . Wir berechnen nur auf den größten Wert des spezifischen Widerstands einen Fehler, da dieser auch der größte Fehler ist.

Die Berechnung wurde mit Python durchgeführt, der spezifische Widerstand

$$\rho = \frac{V}{I} F. \quad (5.2)$$

ist  $\rho = (33,90 \pm 2,14) \Omega\text{m}$ .

Dieser Fehler ist relativ gering. Wir vermuten dass Fehler die z.B. durch die Annahme gerade, unendlich ausgedehnte Schichten im Untergrund gemacht werden wesentlich größer sind. Weshalb man diesen Fehler vernachlässigen kann.

Für die Sondierung waren die Abstände der Elektroden sehr groß gewählt, so das hier der Fehler durch das Massband vernachlässigt werden kann. Insgesamt finden wir es sehr schwer auf die Sondierung einen sinnvollen Fehler anzugeben, da wir nicht einmal mit Sicherheit sagen können wie viele Schichten im Untergrund sind. Wir nehmen an, dass die Fehler durch die Annahme, dass im Untergrund gerade, unendlich ausgedehnte Schichten sind, so viel größer sind als alle Fehler, die sonst entstanden, dass es nicht viel Sinn macht, hier wirklich einen genauen Fehler auf unsere Werte anzugeben.

## 6. Zusammenfassung

Alle drei der angewendeten Messmethoden haben gute Ergebnisse geliefert.

In den messdaten der Tomographie und Wenner-kartierung konnte eindeutig der Basaltgang erkannt werden. Die Geoelektrik eignet sich also insgesammt sehr gut zum Untersuchen des Basaltgangs, anders als z.B die Seismik. Auch haben die Ergebnisse die Erkenntnisse der Magnetik ergänzt und bestädigt.

Was nicht gut gewählt wurde ist die Auslage der Tomographie. Da wir auf eienem relativ kurzen Profil mit kleinen Elektrodenabständen gemessen haben, reicht unsere Messung in nicht ganz 5 m Tiefe. Wir haben die Wenner-Kartierung jedoch zufor in einer Tiefe von 5 m durchgeführt. Dadurch kann man diese beiden Methoden leider kaum vergleichen.

Die Schlumberger-Sondierung sollte mit der Seismik-Messung der Sissy verglichen werden. Wir haben zwei Modelle für mögliche Schichten im Untergrund erstellt. Das zweite Modell, bei dem von fünf Schichten ausgegangen wird, hat eine Schichtgrenze die wir auch mit der Seismik gesehen haben könnten. Bei diesem Modell gibt es in etwa 25 m Tiefe eine Schichtgrenze bei der die Leitfähigkeit sprunghaft zunimmt. Hier vermuten wir auf den Grundwasserspiegel gestoßen zu sein. Da wir die Messung an einem Hang auf einem Hügel durchgeführt haben, erscheinen uns 25 m realistisch als Grundwasserspiegel. Mit dieser Messmethode haben wir also auch auf dem zweiten Messgebiet gute Ergebnisse bekommen. Die Schlumberger-Sondierung eignet sich genauso wie die Seismik auf diesem Profil um Messungen durchzuführen.

# Anhang

## A Messprotokolle

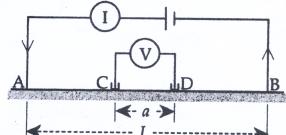
Messprotokoll Schlumberger-Sondierung						
Datum:	24.5.18	Gruppe:	MAN	Standort:	159M	abgetippt
Profil: entlang S1-S2						
Mittelpunkt:	S13					
Bemerkungen:						
Schwankungen ab der 3. Nachkommastelle						
L/2 in m	a/2 in m	I in mA	U in mV	Geometrie- faktor F in m	$\rho_a = F \cdot U / I$ in $\Omega \cdot m$	
1,0	0,16	0,1	0,2802	9,6		
1,6	0,25	0,1	0,2015	15,7		
2,5	0,40	0,1	0,1416	24		
4,0	0,63	1	0,9120	39		
6,3	1,0	1	0,6036	61		
10	1,6	1	0,3727	96		
16	2,5	1	0,1837	157		
25	4,0	10	0,8823	239		
40	6,3	10	0,4329	389		
63	10	10	0,2361	608		
100	16	10	0,1421	957		
160	25			1570		

Abbildung A.1: Messprotokoll 1 der Schlumberger-Sondierung

**Messprotokoll Schlumberger-Sondierung**

Abgeschnitten

Datum: 24.5.18  
 Gruppe: MÄN  
 Standort: A534  
 Profil: entlang S1-S2  
 Maßpunkt: S13  
 Bemerkungen: Mittelpunkt 10cm in Richtung S1 verschoben



$L/2$ in m	$a/2$ in m	I in mA	U in mV	Geometrie- faktor F in m	$\rho_a = F \cdot U/I$ in $\Omega \text{m}$
1,0	0,16	0,1	0,2804	9,6	
1,6	0,25	0,1	0,49 0,2015	15,7	
2,5	0,40	0,1	0,1417	24	
4,0	0,63	1	0,9118	39	
6,3	1,0	1	0,6031	61	
10	1,6	1	0,3737	96	
16	2,5	1	0,1859	157	
25	4,0	10	0,6220	239	
40	6,3	10	0,4336	389	
63	10	10	0,2359	608	
100	16	10	0,1415	957	
160	25			1570	

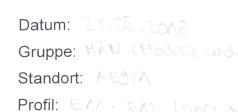
**Abbildung A.2:** Messprotokoll 2 der Schlumberger-Sondierung

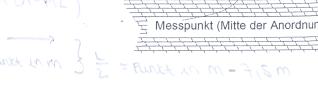
b  
Tomographie auf Kärrungaprofil:  
Positionen: 28m - 51,5m  
48 Elektroden Abstand 0,5m  
Länge des Profils: 23,5m  
73m war nahe des Wegs  
und die Om "berghoch"

**Abbildung A.3:** Beschreibung der Tomographie

abgetippt ✓  
171,97 159,73

**Messprotokoll Wenner-Kartierung**

Datum: 29.05.2018  
 Gruppe: M&W (Müller und Wierer)  
 Standort: AEGIA  
 Profil: EAA - EAL (Ende H2A-H2B)  
 Bemerkungen:   
 Elektrodenabstand:  $a = 5\text{m}$   
 Geometriefaktor:  $F = 2\pi a = 31,4150$   
 $(2\pi = 6.283, 1/(2\pi) = 0.1592)$



$\frac{1}{2} \cdot 7,5 = 3,75 \text{ m}$

**Punkte (Anordnungspunkte)**

Punkt in m	U in mV	I in mA	$\rho_a$ in $\Omega\text{m}$ $= 2\pi a U/I$
0 58	48,056	95,19	50,58153
1 57	50,284	105,64	45,605
2 56	64,105	133,31	46,036
3 55	35,104	112,103	46,431
4 54	107,31	259,15	46,658
5 53	45,492	35,13	45,330
6 52	78,154	76,13	45,495
7 51	38,108	105,10	45,028
8 50	38,163	105,12	45,094
9 49	34,334	107,19	45,365
10 48	29,614	116,10	48,172
11 47	146,141	123,43	49,323
12 46	64,257	56,02	20,240
13 45	111,182	123,113	10,103
14 44	122,170	103,39	20,054
15 43	65,108	109,146	48,454
16 42	34,722	151,61	48,213
17 41	104,735	186,03	19,684
18 40	105,108	183,13	17,456
19 39	20,602	143,142	16,398

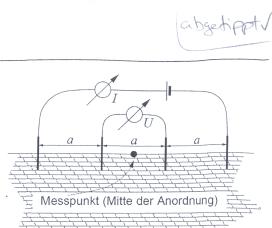
Punkt in m	U in mV	I in mA	$\rho_a$ in $\Omega\text{m}$ $= 2\pi a U/I$
40R	111,148	107,17	48,552
40	85,182	108,140	49,110
39,5	114,184	105,150	48,530
39	117,108	128,121	48,502
38,5	81,128	125,136	20,363
38	134,194	128,174	20,194
37,5	115,110	125,119	23,000
37	115,195	124,102	25,746
36,5	133,114	123,118	20,048
36	151,166	123,163	25,125
35,5	204,187	105,161	34,057
35	245,642	124,144	34,191
34,5	301,114	128,172	32,753
34	283,183	120,113	31,808
33,5	251,184	126,174	33,561
33	195,100	182,118	32,673
32,5	261,186	136,170	31,126
32	244,150	135,133	30,851
31,5	205,141	133,125	29,670
31	153,127	186,170	25,784

**Abbildung A.4:** Messprotokoll 1 der Wenner-Kartierung

## Messprotokoll Wenner-Kartierung

Datum: 24.05.2018  
Gruppe: ~~A~~ Män  
Standort: ASG Riedheim  
Profil: E11-E12 über MQ1-M2)

### Bemerkungen:



Elektrodenabstand:  $a = 5\text{ mm}$   
 Geometriefaktor:  $F = 2\pi a = 10$   
 $(2\pi = 6.283, 1/(2\pi) = 0.1592)$

Punkt in m	U in mV	I in mA	$\rho_a$ in $\Omega m$ $=2\pi a U/I$	Punkt in m	U in mV	I in mA	$\rho_a$ in $\Omega m$ $=2\pi a U/I$	
43	30,5	151,630	208,89	26,013	201,5	118,188	136,44	16,622
39	30	145,104	193,35	33,626	20	100,281	152,85	13,724
35	29,5	145,348	145,225	221,94	19	122,220	229,77	18,109
31	29	140,925	205,52	249,232	18	112,188	239,88	19,702
27	28,5	127,139	218,118	20,254	17	156,519	263,81	14,889
23	28	104,152	151,23	30,359	16	102,165	192,98	19,115
19	27,5	148,746	236,56	10,705	15	143,298	331,22	19,666
15	27	112,284	223,112	21,924	14	122,432	189,27	29,532
11	26,5	165,730	221,39	22,826	13	130,182	158,77	25,906
7	26	150,183	213,95	23,994	12	116,562	250,19	29,823
3	25,5	125,263	292,23	22,334	11			
2	25	121,169	204,80	21,289				
-1	24,5	171,911	233,35	22,458				
34	24	162,152	229,04	23,927				
30	23,5	122,202	125,65	24,822				
26	23	165,633	161,96	29,880				
22	22,5	135,749	201,22	21,110				
18	22	196,001	153,12	20,109				
14	21,5	113,763	195,83	19,915				
10	21	143,230	196,36	19,105				

**Abbildung A.5:** Messprotokoll 2 der Wenner-Kartierung

# Literaturverzeichnis

[FAG<sup>+</sup>18] Forbriger, T., J. Altmann, E. Gottschämmer, S. Heider, U. Kästner, A. Kurzmann, M. Mayer, A. Reiß, K. Seitz, N. Thiel, B. Wawerzinek, M. Westerhaus, R. Widmer und W. Zürn: *Skriptum zu den Geophysikalischen Geländeübungen 2018.* 2018.