

# **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
4.3.1. Modell mit drei Schichten . . . . .	11
4.3.2. Modell mit fünf Schichten . . . . .	11
<b>5. Fehlerbetrachtung</b>	<b>14</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>16</b>
<b>Anhang</b>	<b>17</b>
A. Messprotokolle . . . . .	17
<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 . . . . .	9
4.2. Tomographie-Modell . . . . .	10
4.3. Inversionsmodell mit drei Schichten . . . . .	11
4.4. Daten zum Inversionsmodell mit drei Schichten . . . . .	11
4.5. Inversionsmodell mit fünf Schichten . . . . .	12
4.6. Daten zum Inversionsmodell mit fünf Schichten . . . . .	12
A.1. Beschreibung der Tomographie . . . . .	17
A.2. Messprotokoll 1 der Wenner-Kartierung . . . . .	18
A.3. Messprotokoll 2 der Wenner-Kartierung . . . . .	19
A.4. Messprotokoll 1 der Schlumberger-Sondierung . . . . .	20
A.5. Messprotokoll 2 der Schlumberger-Sondierung . . . . .	21

# Tabellenverzeichnis

# 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

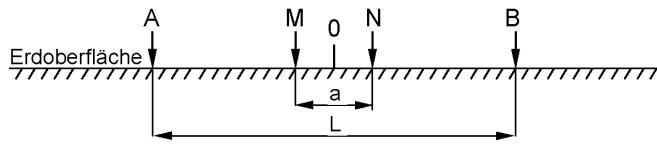
$$[\rho] = 1 \Omega \text{m}$$

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.

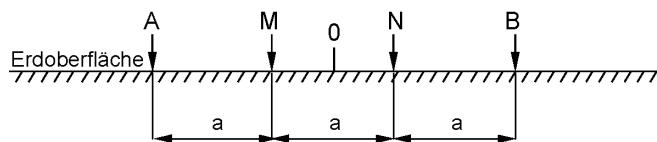


**Abbildung 2.1.:** Schematische Darstellung der Schlumberger-Anordnung

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 2.2 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 2.2 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 (2.2) 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

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

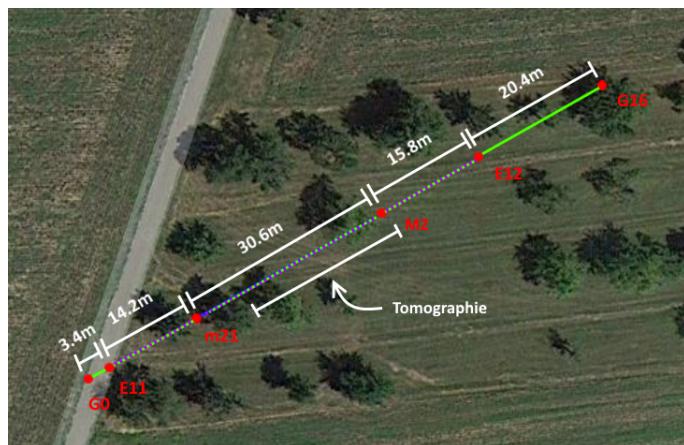
berechnet. Bei einer Messung wird versucht, durch Interpretation der gemessenen scheinbaren Widerstände den spezifischen Widerstand zu finden.

### 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. Das Messprotokoll zur Tomographie befindet sich im Anhang unter der Abbildung A.1.

### 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.

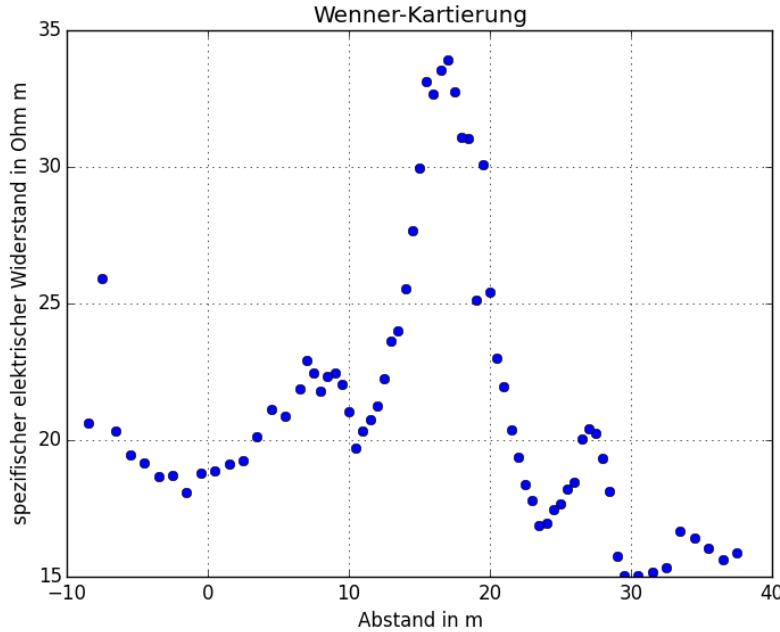
# 4. Auswertung

## 4.1. Wenner-Kartierung

Die Wenner-Kartierung wurde auf einem 46 m langen Profil E11-E12 senkrecht zum Basaltgang durchgeführt. Die Messprotokolle dazu befinden sich im Anhang in den Abbildungen A.2 und A.3. Die spezifischen Widerstände wurden bereits im Feld mit Hilfe der Formel (2.2) aus Kapitel 2.4 berechnet. Die Abstände der Messpunkte sind in der Mitte des Profils kleiner gewählt als außen, da wir dort den Basaltgang vermuten. Aus den Messergebnissen der Magnetik-Messungen konnte 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 dafür, dass wir mit Hilfe unserer Ergebnisse aus der Magnetik unser Profil für die Geoelektrik festlegen können und in beiden Versuchen ähnliche Ergebnisse erhalten.

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 des großen Maximums 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, wird an diesen Stellen ein geringerer spezifischer Widerstand gemessen. Da die Nebenmaxima nicht die gleiche Höhe haben wie das Maximum in der Mitte, ist es auch wahrscheinlich, dass der Basaltgang nicht nur durch Risse unterteilt ist. Wir gehen davon aus, dass der Basalt an den Rändern sehr stark verwittert ist. Grob stimmen unsere Erkenntnisse mit denen der Magnetik überein.



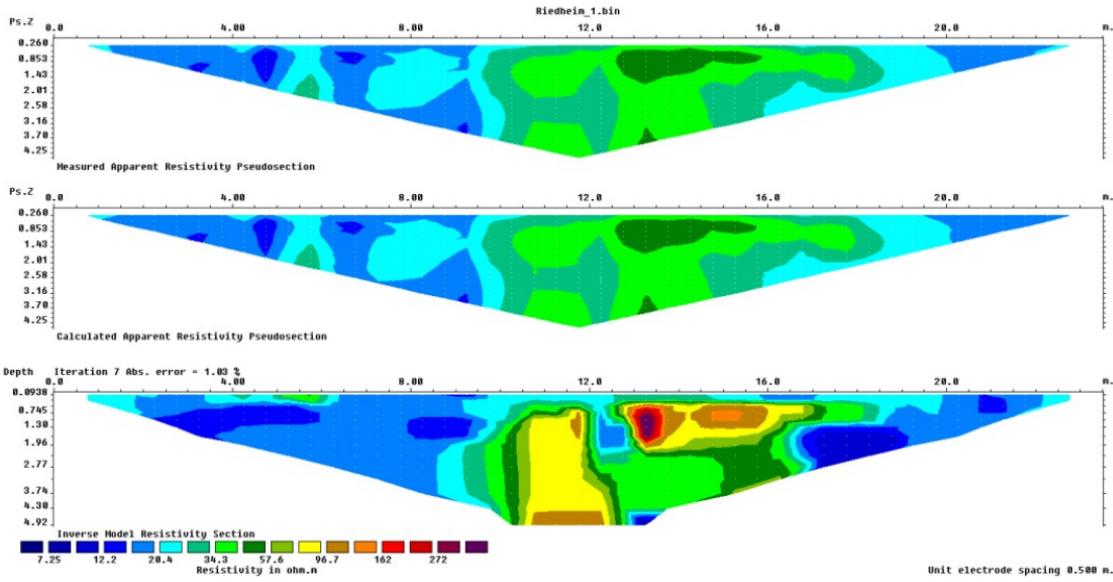
**Abbildung 4.1.:** Diagramm unserer Ergebnisse der Wenner-Kartierung. Der gemessene spezifische Widerstand ist gegen den Abstand zu unserem gewählten Null-Punkt aufgetragen. Der Null-Punkt wurde so gewählt, dass er mit dem Null-Punkt der Tomographie übereinstimmt

## 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 nahezu identisch, also sehr ähnlich. 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 Wenner-Kartierung finden wir große Ähnlichkeiten. Die Tomographie deutet, ebenso wie die Wenner-Kartierung, darauf hin, dass der Basaltgang an der gemessenen Stelle grob in drei Teile unterteilt werden kann. Dies könnte von Karstverwitterung verursacht werden.



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

Allerdings sollte hier noch beachtet werden, dass die Wenner-Kartierung 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, dass diese Anomalie trotz der geringen Höhe die Tomographie beeinflusst.

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

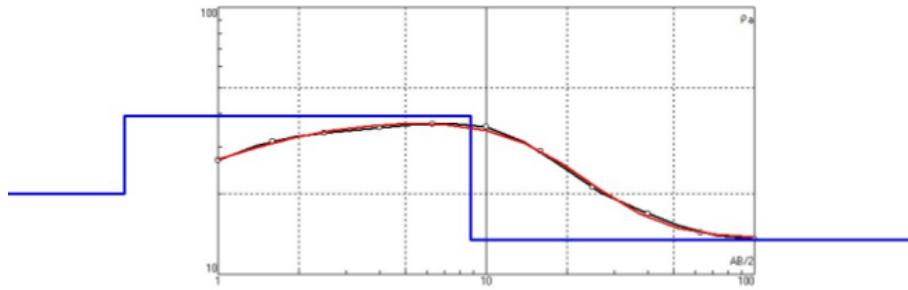
### 4.3. Sondierung

Die Sondierung wurde auf dem Profil E21-E22 durchgeführt. Die Messwerte sind in Abbildung A.4 und A.5 im Anhang zu sehen. Aus ihnen werden mit Hilfe des Inversionsprogramms 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 und 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.

### 4.3.1. Modell mit drei Schichten

Als erstes haben wir ein möglichst genaues Modell erstellt mit der Annahme, dass 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.



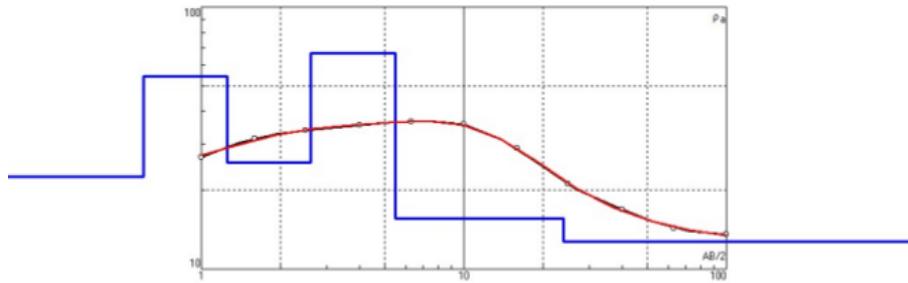
**Abbildung 4.3.:** Inversionsmodell mit drei Schichten

N	$\rho$	h	d	Alt
1	110.5	0.0539	0.0539	0.05392
2	19.69	0.3789	0.4329	0.4328
3	39.03	8.361	8.794	-8.794
4	13.44			

**Abbildung 4.4.:** Daten zum Inversionsmodell mit drei Schichten.  $\rho$  bezeichnet den spezifischen Widerstand in  $\Omega\text{m}$ ,  $h$  die Schichtdicke in m,  $d$  die Schichttiefe in m

### 4.3.2. Modell mit fünf Schichten

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.



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

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 dazu. Wenn wir davon ausgehen, dass sich damit auch die Leitfähigkeit des Untergrunds ändert, ist diese Schichtgrenze dieselbe 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, dass sich hier die seismischen und geoelektrischen Eigenschaften des Untergrunds gleichzeitig ändern, haben wir mit dieser Messung das Ergebnis der Seismik-Messung 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.

## 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 jedoch 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 Wenner-Kartierung und Tomographie durchgeführt wurden, 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 zurückzuführen wären.

Eine weitere Fehlerquelle ist das Stecken der Elektroden. Beim Stecken der Elektroden orientierte man sich an einem Maßband. Dieses war aber über teilweise nicht gemähtes Gras gelegt, was sicher einen Fehler von durchschnittlich  $\pm 0,2$  m ausmacht. Daher kann der Fehler auf die Skala des Maßbands 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  $r_{AM} = r_{NB} = (5,0 \pm 0,2)$  m und  $r_{AN} = r_{MB} = (10,0 \pm 0,4)$  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 gerader, unendlich ausgedehnter Schichten im Untergrund gemacht werden, wesentlich größer sind. Deshalb kann dieser Fehler vernachlässigt werden.

Für die Sondierung waren die Abstände der Elektroden sehr groß gewählt, sodass 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 insgesamt sehr gut zum Untersuchen des Basaltgangs, anders als z.B die Seismik. Auch haben die Ergebnisse die Erkenntnisse der Magnetik ergänzt und bestätigt. Was nicht gut gewählt wurde, ist die Auslage der Tomographie. Da wir auf einem relativ kurzen Profil mit kleinen Elektrodenabständen gemessen haben, reicht unsere Messung in nicht ganz 5 m Tiefe. Wir haben die Wenner-Kartierung jedoch zuvor in einer Tiefe von 5 m durchgeführt. Dadurch kann man diese beiden Methoden leider kaum vergleichen.

Die Schlumberger-Sondierung sollte mit der S.I.S.Sy-Seismik-Messung 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

- Tomographie auf Kartierungsprofil:
  - Position: 28m – 51,5m
  - 48 Elektroden Abstand 0,5m
  - Länge des Profils: 23,5m
  - 73m war nahe des Wegs  
und die Om „berghoch“

**Abbildung A.1.:** Beschreibung der Tomographie

abgetippt ✓  
181,607 189,73

### Messprotokoll Wenner-Kartierung

Datum: 24.05.2008  
 Gruppe: HAN (Hannes und Niklas)  
 Standort: AEGIA  
 Profil: E1A - E1Z (über H2A-H2Z)

Bemerkungen:  
 Elektrodenabstand:  $a = 3,0\text{m}$   
 Geometriefaktor:  $F = 2\pi a = 3,14159$   
 $(2\pi = 6.283, 1/(2\pi) = 0.1592)$

Diagramm: Schematische Darstellung der Wenner-Anordnung mit vier Elektroden (I, U, E1A, E1Z) im Boden. Der Abstand zwischen den äußeren Elektroden ist  $a$ . Der Abstand zwischen den inneren Elektroden ist  $\frac{L}{2}$ . Der Punkt in m ist der Abstand von der Mitte der Anordnung bis zur Außenwandung.

↓ Schaffung (Mittelepunkt Anordnung)

Punkt in m	U in mV	I in mA	$\rho_a$ in $\Omega\text{m} = 2\pi a U/I$
0	48,036	95,19	32,31593
1	52,087	106,67	45,605
2	61,208	109,91	46,036
3	55,204	182,03	16,431
4	54,192	254,45	16,658
5	46,142	95,13	45,330
6	52,121	162,29	45,155
7	58,128	206,90	45,029
8	50,269	205,21	45,044
9	39,311	182,96	45,765
10	48,621	146,70	38,122
11	44,531	189,43	48,323
12	46,354	96,02	20,270
13	45,138	121,13	20,403
14	42,830	203,39	20,054
15	43,308	107,76	48,457
16	41,202	157,67	48,121
17	42,135	186,03	47,687
18	40,598	183,33	47,456
19	41,508	149,42	46,948
20	40,508	104,17	46,948
21	40,508	104,17	46,948
22	39,508	104,17	46,948
23	38,508	104,17	46,948
24	37,508	104,17	46,948
25	36,508	104,17	46,948
26	35,508	104,17	46,948
27	34,508	104,17	46,948
28	33,508	104,17	46,948
29	32,508	104,17	46,948
30	31,508	104,17	46,948
31	30,508	104,17	46,948
32	29,508	104,17	46,948
33	28,508	104,17	46,948
34	27,508	104,17	46,948
35	26,508	104,17	46,948
36	25,508	104,17	46,948
37	24,508	104,17	46,948
38	23,508	104,17	46,948
39	22,508	104,17	46,948
40	21,508	104,17	46,948
41	20,508	104,17	46,948
42	19,508	104,17	46,948
43	18,508	104,17	46,948
44	17,508	104,17	46,948
45	16,508	104,17	46,948
46	15,508	104,17	46,948
47	14,508	104,17	46,948
48	13,508	104,17	46,948
49	12,508	104,17	46,948
50	11,508	104,17	46,948
51	10,508	104,17	46,948
52	9,508	104,17	46,948
53	8,508	104,17	46,948
54	7,508	104,17	46,948
55	6,508	104,17	46,948
56	5,508	104,17	46,948
57	4,508	104,17	46,948
58	3,508	104,17	46,948
59	2,508	104,17	46,948
60	1,508	104,17	46,948
61	0,508	104,17	46,948

Abbildung A.2.: Messprotokoll 1 der Wenner-Kartierung

## Messprotokoll Wenner-Kartierung

| abgedippt ✓

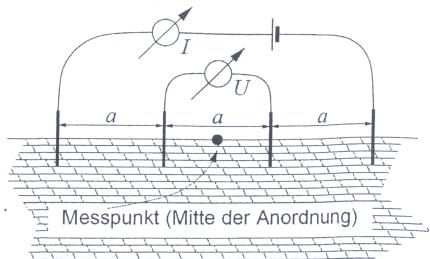
Datum: 24.05.2018

Gruppe: ~~AB~~ M&N

Standort: A594 Riedheim

Profil: E11-E12 über M21-M2

#### Bemerkungen:



Elektrodenabstand:  $a = 5\text{ cm}$

$$\text{Geometriefaktor: } F = 2\pi a = 10\pi = 31,4159$$

$$(2\pi = 6.283, 1/(2\pi) = 0.1592)$$

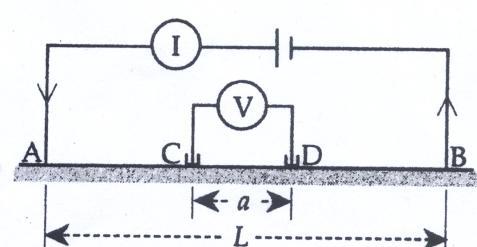
Punkt in m	U in mV	I in mA	$\rho_a$ in $\Omega m$ $=2\pi a U/I$
30,5	159,830	208,89	26,013
30	145,604	193,35	23,626
24,328	167,225	201,94	22,262
29	160,925	208,52	21,232
28,5	172,195	208,68	20,254
28	101,522	154,23	26,359
27,5	148,386	236,54	19,708
27	162,781	273,12	21,824
26,5	165,736	226,39	22,026
26	152,182,5	213,95	22,440
25,5	125,263	247,23	22,334
25	171,169	246,80	21,789
24,5	171,949	239,35	22,438
24	162,152	228,04	23,977
23,5	182,303	125,65	21,825
23	102,630	161,94	20,880
22,5	135,299	201,22	21,110
22	98,011	153,12	20,109
21,5	119,983	195,83	19,245
21	143,230	196,06	19,105

**Abbildung A.3.: Messprotokoll 2 der Wenner-Kartierung**

**Messprotokoll Schlumberger-Sondierung** Labgetippt

Datum: 24.5.18  
 Gruppe: MAN  
 Standort: A5911  
 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.4.: Messprotokoll 1 der Schlumberger-Sondierung

### Messprotokoll Schlumberger-Sondierung

abgeschnitten

Datum: 24.5.18

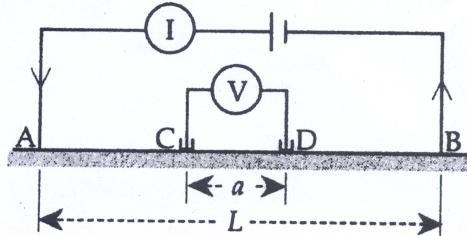
Gruppe: MAN

Standort: A59H

Profil: entlang S1-S2

Mittelpunkt: 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	0,18 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	0,1839	157	
25	4,0	10	0,4820	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.5.: Messprotokoll 2 der Schlumberger-Sondierung

# 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.