

# **Geophysikalische Geländeübungen**

## **SS 2018**

### **Gravimetrie**

**Messgebiet A59/1 (Riedheim)**

Svenja Müller  
mueller-svenja@gmx.net

und

Lea Stockmeier  
lea.stockmeier@web.de

Betreuer: Malte Westerhaus und Alexandra Heck

21. Juni 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Theoretische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1. Schwerkraftbeschleunigung . . . . .	2
2.2. Reduktionen . . . . .	2
2.3. Messinstrumente . . . . .	4
2.3.1. Gravimeter . . . . .	4
2.3.2. Tachymeter . . . . .	5
2.3.3. Global Navigation Satellite System (GNSS) . . . . .	6
<b>3. Versuchsbeschreibung</b>	<b>7</b>
3.1. Messung mit dem Gravimeter . . . . .	7
3.2. Tachymetrie . . . . .	9
3.3. Vermessung mit GPS . . . . .	9
<b>4. Auswertung</b>	<b>10</b>
4.1. GPS . . . . .	10
4.2. Tachymetrie . . . . .	10
4.3. Reduktionen . . . . .	10
4.4. Modellierung mit MATLAB . . . . .	11
4.4.1. Spaltenintrusion . . . . .	13
4.4.1.1. Modell 1 . . . . .	13
4.4.1.2. Modell 2 . . . . .	14
4.4.2. Basaltfluss . . . . .	15
<b>5. Fehlerbetrachtungen</b>	<b>17</b>
5.1. Messwertablesungen . . . . .	17
5.2. Doppelmessungen . . . . .	18
5.3. Modellierungen . . . . .	19
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>20</b>

<b>Anhang</b>	<b>21</b>
A.  Messprotokolle . . . . .	21
B.  Messergebnisse . . . . .	29
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>35</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1. Aufbau eines LaCoste-Romberg G-Gravimeters . . . . .	4
3.1. Lage des Profils G0-G16 der Gravimetrie-Messung im Vergleich zu den anderen Profilen . . . . .	7
3.2. Skizze zur Lage der Profilpunkte des Gravimetrie-Profil . . . . .	8
4.1. Gravimeterdrift des Geräts 156G . . . . .	11
4.2. Gravimeterdrift des Geräts 686G . . . . .	11
4.3. Bougueranomalie in Abhängigkeit der Profilkordinate . . . . .	12
4.4. Bougueranomalie des ersten Modells einer Spaltenintrusion . . . . .	14
4.5. Schwereresiduum des ersten Modells einer Spaltenintrusion . . . . .	14
4.6. Bougueranomalie des zweiten Modells einer Spaltenintrusion . . . . .	15
4.7. Schwereresiduum des zweiten Modells einer Spaltenintrusion . . . . .	15
4.8. Bougueranomalie des Basaltfluss . . . . .	16
4.9. Schwereresiduum des Basaltfluss . . . . .	16
A.1. Versuchsmitschrieb 1 . . . . .	21
A.2. Versuchsmitschrieb 2 . . . . .	22
A.3. 1. Messprotokoll der Messungen mit Gerät Nr. 156 Typ G . . . . .	23
A.4. 2. Messprotokoll der Messungen mit Gerät Nr. 156 Typ G . . . . .	24
A.5. 1. Messprotokoll der Messungen mit Gerät Nr. 686 Typ G . . . . .	25
A.6. 2. Messprotokoll der Messungen mit Gerät Nr. 686 Typ G . . . . .	26
A.7. 1. Messprotokoll zur Tachymetrie . . . . .	27
A.8. 1. Messprotokoll zur Tachymetrie . . . . .	28

# 1. Einleitung

Die Gravimetrie-Messung wurde am letzten Messtag der geophysikalischen Geländeübung 2018, Freitag den 25.05., durchgeführt.

Bei der Gravimetrie-Messung wurden drei verschiedene Messmethoden angewandt. Das sind die Messung mit dem Gravimeter, Vermessung von Punkten mit der Tachymetrie und GPS.

Unsere Fragestellung ist hier in erster Linie, wie gut der Basaltgang mit der Gravimetrie im Vergleich zu den anderen Messverfahren untersucht werden kann. Wir wollen die Lage des Ganges möglichst genau bestimmen, und mit den Ergebnissen der übrigen Messmethoden vergleichen.

## 2. Theoretische Grundlagen

### 2.1. Schwerebeschleunigung

Die Gravitationsbeschleunigung aufgrund der Anziehung zweier Massen ist

$$\vec{b}_a(\vec{r}) = G \int_V \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r}' - \vec{r}|^3} (\vec{r}' - \vec{r}) dV' \quad (2.1)$$

mit der Gravitationskonstanten

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}. \quad (2.2)$$

Außerdem wirken noch scheinbare Schwerewirkungen wie zum Beispiel die Zentrifugalbeschleunigung  $\vec{z}(\vec{r})$ , die durch die Erdrotation hervorgerufen wird.

Wird eine Messung der Schwere durchgeführt, wird immer die vektorielle Summe dieser beiden Beschleunigungen

$$\vec{g}_a(\vec{r}) = \vec{b}_a(\vec{r}) + \vec{z}(\vec{r}) \quad (2.3)$$

gemessen.

Die SI-Einheit der Schwerebeschleunigung ist  $[g] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , wobei in der Geophysik meist die Einheit 1 Gal verwendet wird. Die Umrechnung erfolgt durch

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 100 \text{ Gal}. \quad (2.4)$$

### 2.2. Reduktionen

Meist möchte man durch die gemessenen Schwereunterschiede auf einen unbekannten Dichteunterschied im Untergrund schließen. Dazu müssen jedoch die bekannten Schwereunterschiede aus den Messwerten eliminiert werden. Es wird von Reduktion der Schwerewerte gesprochen.

Die Freiluftreduktion (oder auch Niveaureduktion)  $\delta_{g\text{Niv}}$  berücksichtigt, dass die Schwere mit zunehmender Höhe  $H$  abnimmt. Es gilt dabei

$$\delta_{g\text{Niv}} = -0,3086 \cdot H \frac{\text{mGal}}{\text{m}}. \quad (2.5)$$

Den gleichen Effekt muss man bei der Instrumentenhöhe beachten, was zu  $\delta_{g\text{Instr.hohe}}$  führt. Die Instrumentenhöhe wird jedoch direkt bei der Messung aus den Messwerten eliminiert, weil dies eine von der Geometrie der Messung unabhängige Auswertung und einen direkten Vergleich der Ergebnisse im Feld ermöglicht.

Bei der Gezeitenreduktion  $\delta_{g\text{Gez}}$  wird die Gravitationswirkung anderer Planeten berücksichtigt, die sich mit der Zeit verändert. Im Praktikum gibt es dazu ein Diagramm, aus dem sie für alle Uhrzeiten abgelesen werden kann.

Die Driftreduktion  $\delta_{g\text{Drift}}$  muss durchgeführt werden, weil sich die Eigenschaften der Bauteile des Gravimeters mit der Zeit ändern können. Um diese Änderung erfassen zu können, wird an allen Messpunkten mindestens zweimal gemessen. Dadurch kann eine Funktion interpoliert werden, die die Drift im Laufe der Zeit darstellt. Diese Korrektur muss auf jeden Fall nach der Gezeitenkorrektur durchgeführt werden, damit alle anderen zeitlichen Veränderungen schon aus der Messung eliminiert sind.

Die Geländereduktion  $\delta_{g\text{Gel}}$  berücksichtigt die Verringerung des Schwerewerts durch zum Beispiel Berge und Täler in der Nähe des Messorts. Nach der Korrektur ist der Messwert also vergrößert.

Die Bouguerreduktion berücksichtigt den Effekt, dass eine Gesteinsschicht zwischen Referenzfläche und Messpunkt den gemessenen Wert der Schwere vergrößert. Es wird angenommen, dass diese Gesteinsschicht aus homogenem Material der Dichte  $\rho$  besteht. Dies führt zur Gleichung

$$\delta_{g\text{Bouguer}} = 2\pi\rho GH = 0,0419 \cdot H \cdot \rho \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2\text{kg}} \quad (2.6)$$

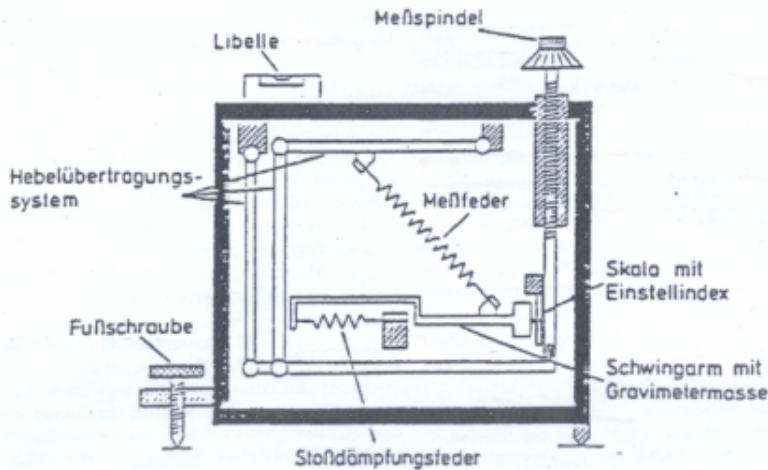
für diese Reduktion.

Die Breitenreduktion beinhaltet die räumlichen Schwereunterschiede aufgrund der breitenabhängigen Zentrifugalbeschleunigung, die durch die Erdrotation hervorgerufen wird. Der Schwerewert vergrößert sich hierbei mit zunehmender Breite. Die Normalschwereformel

$$\delta_{g\text{Breite}} = 8,2 \cdot L \cdot 10^{-9} \frac{1}{\text{s}^2} \quad (2.7)$$

liefert mit dem Abstand  $L$  zur geographischen Breite des Referenzpunkts den Korrekturwert.

Die geologische Reduktion  $\delta_{g\text{geol}}$  beachtet den überregionalen Trend nach der Karte



**Abbildung 2.1.:** Aufbau eines LaCoste-Romberg G-Gravimeters [FAG<sup>+</sup>18]

der Bougueranomalien von Baden-Württemberg. Sie kann aus dem Rechts- und Hochwert mit Formel

$$\delta_{g \text{ geol}} = (0,000953 \cdot \Delta L_{\text{Hoch}} - 0,00055 \cdot \Delta L_{\text{Rechts}}) \frac{\text{mGal}}{\text{m}} \quad (2.8)$$

bestimmt werden. Der Rechtswert  $\Delta L_{\text{Rechts}}$  ist der Fortschritt in Ostrichtung bezüglich eines gewählten Referenzpunkts. Der Hochwert  $\Delta L_{\text{Hoch}}$  ist der Fortschritt in Nordrichtung bezüglich des gleichen Referenzpunkts. Beide Größen haben die Einheit Meter.

Von einer Bougueranomalie  $g_{\text{Bouguer}}$  wird gesprochen, wenn all diese Reduktionen auf den Messwert  $g_{\text{mess}}$  angewendet wurden. Es gilt also

$$\begin{aligned} g_{\text{Bouguer}} = & g_{\text{mess}} - \delta_{g \text{ Instr.hoehe}} - \delta_{g \text{ Gez}} - \delta_{g \text{ Drift}} - \delta_{g \text{ Gel}} \\ & - \delta_{g \text{ Niv}} - \delta_{g \text{ Breite}} - \delta_{g \text{ Bouguer}} - \delta_{\text{regio}} \end{aligned} \quad (2.9)$$

## 2.3. Messinstrumente

### 2.3.1. Gravimeter

Im Versuch werden LaCoste-Romberg G-Gravimeter benutzt. Der Aufbau eines solchen Gravimeters ist in Abbildung 2.1 zu sehen. Das grundlegende Prinzip ist, dass sich eine an einer Feder hängende Masse im Schwerfeld der Erde befindet und die unterschiedliche Auslenkung der Masse an unterschiedlichen Orten oder zu unterschiedlichen Zeiten gemessen wird. Diese Gravimeter können also Differenzen von Schwerebeschleunigungen messen, aber keine Absolutwerte.

In der Ruhelage befindet sich der Schwingarm mit Gravimetermasse in der Horizontalen. Ändert sich dann die Schwere, wird die Masse anders ausgelenkt und die

Masse kann durch Drehen an der Messspindel wieder in die Ausgangslage gebracht werden. Die Anzahl der notwendigen Spindelumdrehungen  $U$  ist proportional zur Schwereänderung  $\Delta g$

$$\Delta g = U \cdot p \quad (2.10)$$

mit einem geräteabhängigen Proportionalitätsfaktor  $p$ .

Ein Gravimeter hat eine Messempfindlichkeit von 0,01 mGal, weswegen das Gerät sehr gut gegen physikalische Nebeneffekte geschützt werden muss. Es ist zum Beispiel mit einem Thermostat auf ein Hundertstel Grad temperaturstabilisiert, druckdicht gebaut und magnetisch abgeschirmt. Trotzdem ist eine sehr sorgfältige Messung wichtig, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten.

### 2.3.2. Tachymeter

Obwohl die Höhenbestimmung beim Nivellement genauer ist, wird in diesem Versuch die Höhe mit einer Totalstation bestimmt. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus einem Tachymeter und einem elektronischen Entfernungsmesser. Mit einem Fernrohr wird der Punkt anvisiert, dessen Höhe gegenüber der Totalstation gemessen werden soll. Dadurch ist der Winkel  $\alpha$  gegenüber der Horizontalen bekannt. Außerdem wird am zu vermessenden Punkt ein Reflektor angebracht. Dadurch wird ein vom elektronischen Entfernungsmesser ausgehender Laserstrahl zurück geschickt und mit der Laufzeit  $t$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  kann mit der Formel

$$s = c \cdot \frac{t}{2} \quad (2.11)$$

die Entfernung  $s$  berechnet werden. Dies geschieht direkt im Gerät. Aus der Länge  $s$  kann direkt die Höhendifferenz

$$\Delta h = \sin(\alpha) \cdot s \quad (2.12)$$

bestimmt werden.

### 2.3.3. Global Navigation Satellite System (GNSS)

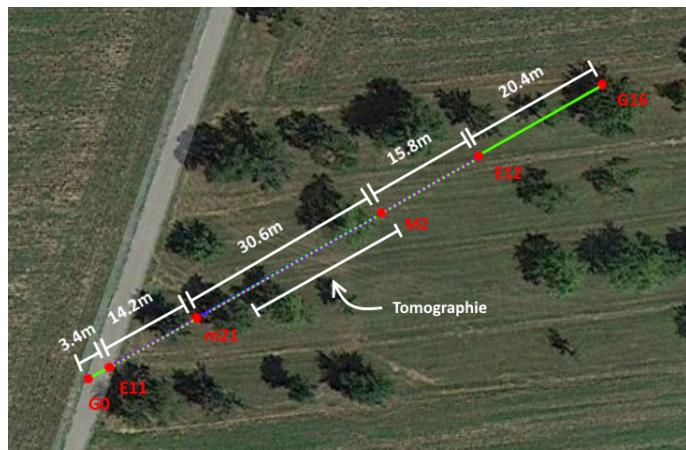
Mit GNSS werden Höhenmessungen durchgeführt und die während der Messungen markierten Pflöcke eingemessen. Das Prinzip beruht darauf, dass viele Satelliten Signale Richtung Erde schicken. Diese werden vom Rover, der von Profilpunkt zu Profilpunkt bewegt wird, empfangen und die Laufzeit gemessen. Um atmosphärische Einflüsse der Laufzeit möglichst gering zu halten, gibt es fest installierte Referenzstationen, durch die Korrekturwerte in Echtzeit bestimmt werden können, die die Laufzeit der Signale der Satelliten korrigieren. Da die Genauigkeit der Höhenmessung für die Gravimetrie nicht ausreicht, wird die Höhe im Versuch mit einem Tachymeter bestimmt und nur die Lage der Pflöcke mit differentiellem GPS vermessen.

# 3. Versuchsbeschreibung

Die Notizen, die während der Messungen gemacht wurden, befinden sich im Anhang in den Abbildungen A.1 und A.2

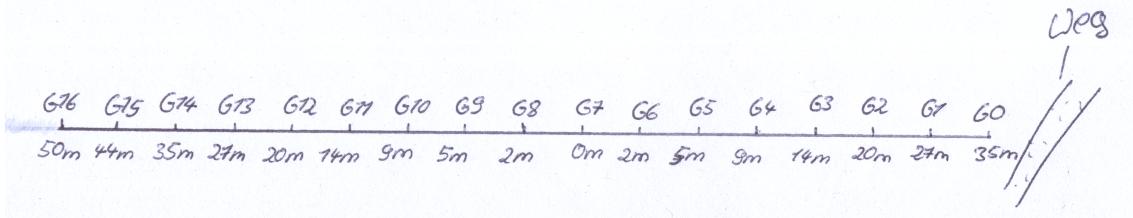
## 3.1. Messung mit dem Gravimeter

Die Messung mit den beiden vorhandenen Gravimetern wurde auf dem Profil orthogonal zum Basaltgang durchgeführt. Auf dem gleichen Profil wurden schon Messungen mit allen drei der vorherigen Messverfahren durchgeführt. Dies ist in Abbildung 3.1 zu sehen. Die Lage der Profelpunkte des Gravimetrie-Profilzueinander ist in Skizze 3.2 zu sehen. Da zwei Gravimeter zur Verfügung standen, wurde mit jedem der Messgeräte jeweils jeder zweite Punkt vermessen. Der Messpunkt G0 in Abbildung 3.2 bezeichnet den Basispunkt der Messung. Auf diesem Punkt wurde mit beiden Gravimetern eine Messung durchgeführt. Bei G7 wird das Maximum des Basaltgangs erwartet. Deswegen wurden dort die Messabstände am kleinsten gewählt.



**Abbildung 3.1.:** Lage des Profils G0-G16 der Gravimetrie-Messung im Vergleich zu den anderen Profilen. Die Grafik wurde von Rebekka Kirchgässner und Luisa Rank übernommen.

Um die Drift der Messgeräte erfassen und korrigieren zu können, wurden jeweils zwei Messungen auf dem selben Profil im Abstand von mehr als einer Stunde durchgeführt.



**Abbildung 3.2.:** Skizze zur Lage der Profilpunkte des Gravimetrie-Profil

Dies wurde umgesetzt, indem man mit den Gravimetern einmal das ganze Profil komplett entlang ging und dann mit der zweiten Messung wieder am ersten Messpunkt begann.

Die Messungen wurden mit Gravimetern des Types LaCoste-Romberg(G) durchgeführt. Da Gravimeter sehr empfindliche Messgeräte sind, mussten die Messungen sehr genau und vorsichtig durchgeführt werden. Das Messgerät hat eine theoretische Auflösung von 0,01 mGal.

Um einen Messpunkt zu ver messen, wurde das Gravimeter zunächst neben den mit zwei Pflöcken markierten Punkt gestellt. Mit Hilfe zweier Libellen wurde es horizontal ausgerichtet. Einer der beiden Pflöcke war bis auf eine Handbreite in den Boden geschlagen und diente zur exakten Messung der Instrumentenhöhe. Diese Höhe muss bis auf 5 mm genau bestimmt werden, um die Korrektur der Instrumentenhöhe so durchführen zu können, dass sie nicht das Ergebnis verfälscht. Wenn das Gravimeter nicht mehr bewegt wurde, konnte die Arretierung gelöst werden. Solange die Messung durchgeführt wurde, achtete man darauf, dass sich keine Person dem Messgerät näherte oder sich die Personen in der Nähe stark bewegten. Dies war wichtig, da es einen sofort sichtbaren Einfluss auf die Messung hatte, wenn sich eine Person näherte.

Die Messung wurde immer zu dritt durchgeführt. Eine Person war verantwortlich für einen Sonnenschirm, der über das Messgerät gehalten wurde, eine für das Ablesen der Messwerte und eine dritte Person führte das Messprotokoll. Im Messprotokoll (siehe Abbildungen A.3 bis A.6 im Anhang) wurde die Instrumentenhöhe und die Zeit direkt mit aufgeschrieben, um noch vor Ort die Instrumentenhöhenkorrektur nach Gleichung (2.5) und die Gezeitenkorrektur mit einem Diagramm durchzuführen. Es ist hilfreich, diese Korrekturen direkt vor Ort durchzuführen, um die Messungen der verschiedenen Geräte, die zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt wurden, vergleichen zu können und schon im Feld feststellen zu können, ob die Daten auswertbar werden oder es zu zu großen Messunsicherheiten kam.

### 3.2. Tachymetrie

Mit einem elektronischen Tachymeter TC 500 wurde die Lage und Höhe der Messpunkte, die mit den Gravimetern vermessen wurden, relativ zu einem Basispunkt bestimmt. Dazu wurde der Reflektor an dem zu vermessenden Punkt aufgestellt und mit dem sehr genau horizontierten Messgerät angepeilt. Mit einem Laser wurde die Entfernung gemessen. Durch eine Interne Winkelmessung kann der Rechts- und Hochwert bestimmt werden, der für die geologische Reduktion benötigt wird. Die Messprotokolle zu diesem Versuchsteil sind im Anhang unter Abbildung A.7 und A.8 zu finden.

### 3.3. Vermessung mit GPS

Mit einem GPS-Gerät wurden die Pflöcke, mit denen alle Profil-Punkte und sonstigen wichtigen Orte während der Messungen markiert wurden, eingemessen. Es wurden die GPS-Koordinaten, die Zeit der Messung und die Art der Lösung des Gleichungssystems gespeichert. Manchmal hatte das Messgerät durch zum Beispiel Bäume keinen Kontakt zu genug Satelliten, sodass die Lage der Punkte nicht so genau wie sonst bestimmt werden konnte.

Bei der Messung selbst musste darauf geachtet werden, dass die Stange an der das Gerät befestigt war, mit zwei Stangen möglichst genau vertikal ausgerichtet wurde. Zur Kontrolle der Ausrichtung diente eine Punkt-Libelle. Außerdem musste ihre Länge notiert werden, um auf die Koordinaten auf Boden-Niveau schließen zu können. Nach einer Messung konnten der vermessene Punkt im Gerät umbenannt werden, um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Hier machte sich bemerkbar, wie hilfreich unsere während der Versuchstage angefertigte Karte der Profilpunkte war. Außerdem stellte sich unsere Beschriftung der Pflöcke als sehr hilfreich und strukturiert heraus.

# **4. Auswertung**

## **4.1. GPS**

Die GPS-Daten wurden von Alexandra ausgelesen und uns als Tabelle (Siehe Tabellen B.1 und B.2 im Anhang) zur Verfügung gestellt. Damit konnten dann Karten von den Profilen der verschiedenen Messverfahren erstellt werden, von denen einige in der Gesamtübersicht zu finden sind.

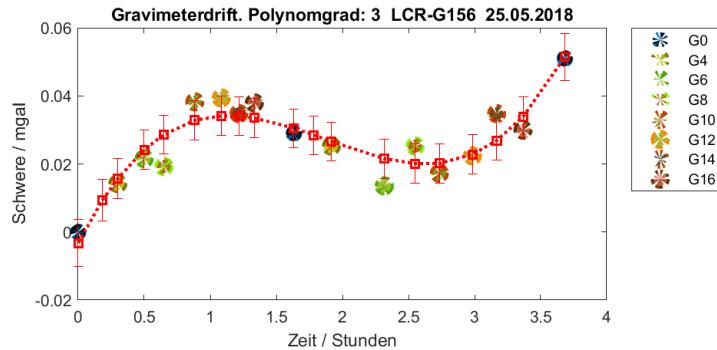
## **4.2. Tachymetrie**

Mit der Tachymetrie wurden die Messpunkte des Gravimetrie-Profils noch genauer als mit der GPS-Messung vermessen. Die Auswertung der Ergebnisse wurde von Alexandra durchgeführt. Die Messergebnisse wurden uns als Tabelle (siehe Tabelle B.3 im Anhang) zur Verfügung gestellt.

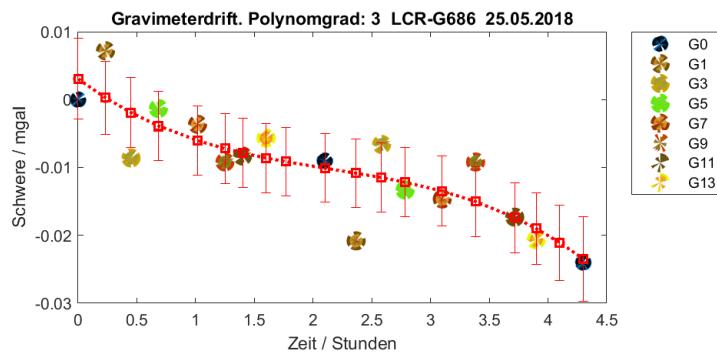
## **4.3. Reduktionen**

Nach den bereits im Feld durchgeführten Reduktionen wurde noch am Versuchstag die Driftkorrektur mit dem zur Verfügung gestellten MATLAB-Programm GDRIFT durchgeführt. Da beim zweiten Durchlauf der mit Gravimeter 156G am Punkt G2 aufgenommene Wert sehr große Abweichungen zeigte, wurde dieser bei der Interpolation nicht berücksichtigt. Das gleiche war bei G15 und Gerät 686G der Fall. Beide Werte wurden dennoch korrigiert und dann weiter verwendet. Die Driftkurven sind in den Abbildungen 4.1 und 4.2 abgebildet. Nach Abzug der Drift von den einzelnen Messwerten, wurde der Mittelwert der beiden Messreihen für jedes Gravimeter gebildet. Nun wurden die Messreihen der beiden Gravimeter zusammen geführt, um das vollständige driftkorrigierte Profil zu erhalten. Dabei wurde das Offset der beiden Gravimeter zueinander am Basispunkt G0 berücksichtigt. Da nur der relative Unterschied dieser Werte relevant ist, wird der kleinste Messwert von allen abgezogen.

An diesen Werten werden die weiteren Korrekturen mit einem python-Skript durchgeführt. Es werden jeweils die Formeln aus Kapitel 2.2 verwendet. Es wurden jeweils



**Abbildung 4.1.:** Gravimeterdrift des Geräts 156G. Die Messwerte an Punkt G2 wurden für die Bestimmung der Driftkurve nicht verwendet, weil sie zu starke Abweichungen zeigten.



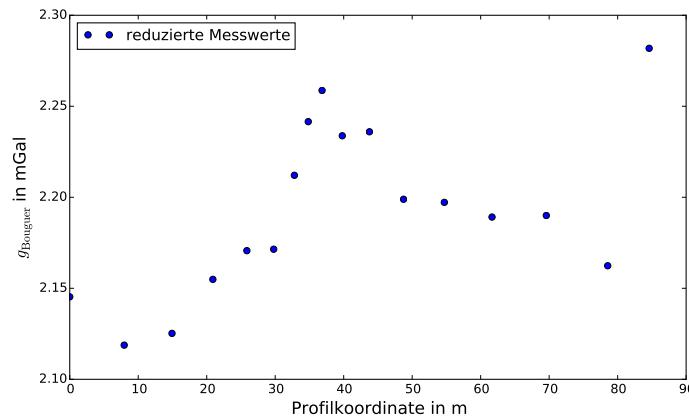
**Abbildung 4.2.:** Gravimeterdrift des Geräts 686G. Die Messwerte an Punkt G15 wurden für die Bestimmung der Driftkurve nicht verwendet, weil sie zu starke Abweichungen zeigten.

nur Relativwerte verwendet, weil bei unseren Relativmessungen nur die Differenz zum jeweils kleinsten Wert ausgewertet werden kann. Eine Absolutmessung der Schwerkraft wurde von uns nicht durchgeführt. In Tabelle B.4 im Anhang sind alle Werte, die für die Reduktionen verwendet wurden, aufgelistet und in Tabelle B.5 im Anhang sind die Werte der Reduktionen und die daraus resultierende Bougueranomalie aufgeführt. Für die Bouguer-Plattenreduktion wurde eine Dichte von  $\rho = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  verwendet, weil Dichten von  $2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  bis  $2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  oft bei gravimetrischen Dichtebestimmungen mit dem Nettleton-Verfahren im Hegau bestimmt werden. Allgemein ist dies aber ein sehr großer Wert für eine Bodendichte. Die Dichte wurde so hoch gewählt, weil dann die Verkippung der Bougueranomalie geringer wurde und so der Einfallsinkel nicht so groß gewählt werden musste.

#### 4.4. Modellierung mit MATLAB

Nun kann die Modellierung mit MATLAB durchgeführt werden. In Abbildung 4.3 ist die resultierende Bougueranomalie abgebildet. Es fällt auf, dass der letzte Wert sehr groß ist und nicht zu den anderen abfallenden Werten am Rand der Anomalie passt. Es wurde dann nochmal für diesen Punkt die gesamte Rechnung überprüft,

um einen Auswertungsfehler ausschließen zu können. Da kein Fehler gefunden werden konnte und ein Ausreißer bei einem Profil mit so wenig Messdaten einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat, wird der letzte Messwert bei den Modellierungen in MATLAB nicht mit verwendet. Erst danach fiel auf, dass die Verkürzung der Reflektorstange um 50 cm am letzten Profilpunkt nicht richtig in die Auswertung der Tachymetrie-Ergebnisse aufgenommen wurde. Die Höhe wurde also 50 cm zu groß berechnet, was auch einen Einfluss auf diverse Korrekturen hat. Dies ist in diesem Protokoll jedoch nicht mehr berücksichtigt, weil die Auswertung schon durchgeführt wurde. In Tabelle 4.1 sind die in das Programm eingelesenen Daten aufgelistet.



**Abbildung 4.3.:** Bougueranomalie in Abhängigkeit der Profilkordinate

**Tabelle 4.1.:** In das MATLAB-Programm eingelesene Daten

Messpunkt	Profilkoordinate in m	Höhe in m	Bougueranomalie in mGal
G0	0	0	2.145
G1	7.952	0.441	2.119
G2	14.929	1.003	2.125
G3	20.897	1.467	2.155
G4	25.86	1.941	2.171
G5	29.78	2.245	2.171
G6	32.799	2.554	2.212
G7	34.825	2.804	2.242
G8	36.842	3.039	2.259
G9	39.792	3.375	2.234
G10	43.761	3.739	2.236
G11	48.741	4.193	2.199
G12	54.697	4.63	2.197
G13	61.658	5.144	2.189
G14	69.585	5.808	2.190
G15	78.549	6.672	2.162

Beim Modellierungs-Programm kann zwischen Spaltenintrusion und Basaltfluss gewählt werden und dann noch viele Parameter eingegeben werden. Deswegen können

prinzipiell bei beiden Modellen unendlich viele Untergrundmodelle gefunden werden, die die Messwerte erklären würden. Im folgenden sind einige resultierende Modelle beschrieben, die gemeinsam mit Katharina Adrion und Niels Gieseler durchgeführt wurden. Die Abbildungen sind dennoch unterschiedlich, weil in deren Protokoll der letzte Wert mit den richtigen Korrekturen noch ergänzt wurde.

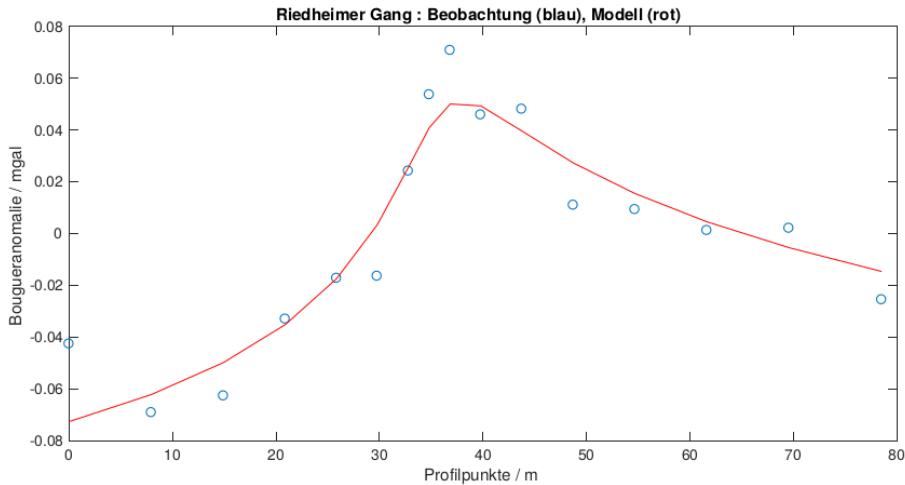
Bei beiden Optionen müssen vor der Modellierung einige Parameter abgeschätzt und eingegeben werden. Der Winkel zwischen Messprofil und Streichrichtung des Störkörpers konnte mit der Magnetik-Kartierung sehr genau zu  $90^\circ$  bestimmt werden, weswegen dies für alle Profile so gewählt wurde. Außerdem muss immer der mittlere Fehler der Beobachtungen angegeben werden. Um nicht einen zu kleinen Fehler anzugeben, wurde hier für beide Messgeräte der größte Fehler benutzt, welcher in Gleichung (5.9) in Kapitel 5.2 berechnet wird. Die Tiefenerstreckung des Störkörpers wurde auf 1000 m gesetzt, weil der Riedheimer Basaltgang in einer geologischen Karte bei einem Schnitt so tief wie dieser eingezeichnet ist. Es muss auch immer die Profillage des Schweremaximums, also der Mittelpunkt der Anomalie eingegeben werden. Dieser ist aus den Werten der Magnetik-Profile zu schließen bei 37 m, also Profilpunkt G7. Wird das Schweremaximum jedoch immer auf 37 m gesetzt, erklären die Modelle die Beobachtung häufig nicht gut. Dieser Wert wird also bis zu 3 m in den folgenden Modellen verschoben. Die Bougueranomalie der folgenden Modelle ist nicht gleich wie in Abbildung 4.3, weil vom MATLAB-Programm bei der Modellierung noch weitere Korrekturen der Messwerte vorgenommen werden, die erst nach Festlegung des Modells durchgeführt werden können.

#### 4.4.1. Spaltenintrusion

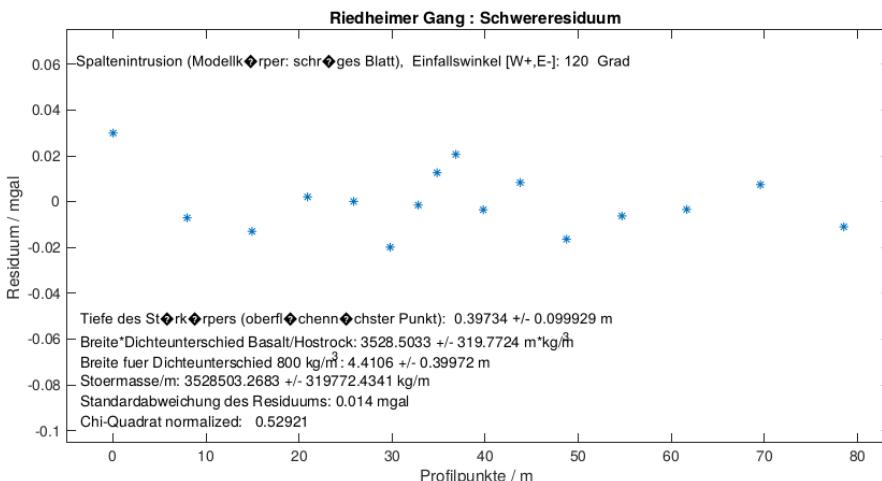
Eine Spaltenintrusion oder auch schräges Blatt entspricht einer Gangfüllung. Es handelt sich also um einen langen, tiefen und vermutlich schmalen Quader mit einem anderen Gestein, hier Basalt, gefüllt. Da die Bougueranomalie etwas gekippt aussieht, muss für die Modellierung entweder ein linearer Trend angenommen werden oder davon ausgegangen werden, dass die Spaltenintrusion schräg einfällt. Für beide Varianten wurden Modelle erstellt.

##### 4.4.1.1. Modell 1

Für dieses Modell wurde der Einfallwinkel (Einfallen) als  $120^\circ$  von West nach Ost gemessen angenommen, da Modelle mit einem geringeren Einfallen die Werte noch nicht gut genug erklärten. Die Option der Schätzung eines linearen Trends wurde für dieses Modell nicht verwendet, weil dieser und der Einfallwinkel nicht unabhängig voneinander bestimmbar sind. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.4 und 4.5 dargestellt.



**Abbildung 4.4.:** Bougueranomalie des ersten Modells einer Spaltenintrusion



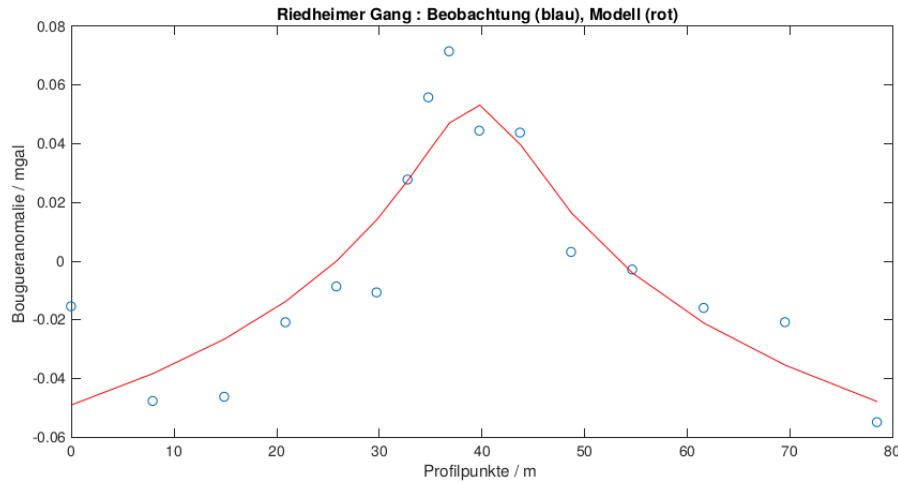
**Abbildung 4.5.:** Schwereresiduum des ersten Modells einer Spaltenintrusion

Der Einfallwinkel scheint mit  $120^\circ$  doch sehr groß zu sein. In der Magnetik wurde zwar auch bestimmt, dass es sich um einen schrägen Gang handeln muss, jedoch ergaben sich Winkel um die  $10^\circ$  bis  $20^\circ$  gemessen von der Senkrechten aus. Die hier angenommenen  $30^\circ$  weichen stark davon ab. Der Eingabewert des oberflächennächsten Punkts der Anomalie 1,5 m wurde verändert und eine neue Tiefe von  $(0,397 \pm 0,010)$  m berechnet. Bei einem Dichteunterschied von  $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ergibt sich bei diesem Modell eine Breite des Spaltenintrusion von  $(4,41 \pm 0,40)$  m.

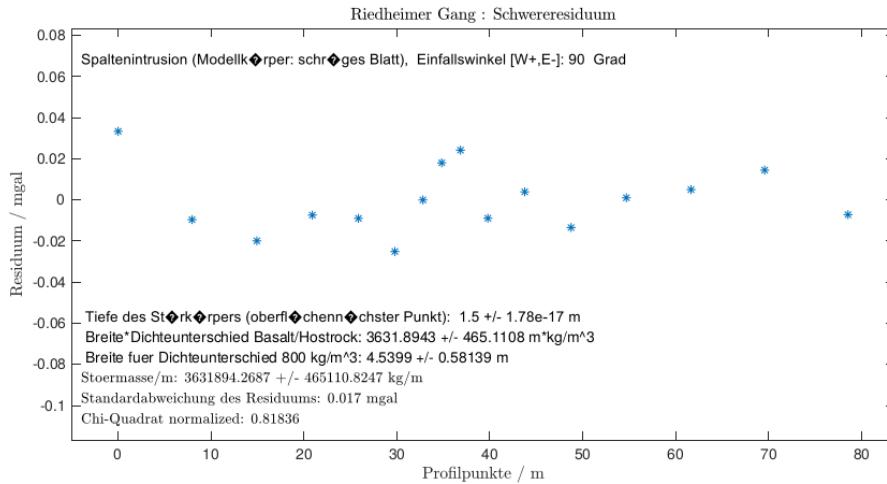
#### 4.4.1.2. Modell 2

Nun wurde der Einfallwinkel auf  $90^\circ$  gesetzt und dafür die Option des linearen Trends gewählt, weil nur so die verkippt aussehenden Messwerte modelliert werden können (Ergebnisse siehe Abbildung 4.6 und 4.7). Ein großer Unterschied ist, dass die Tiefe, die wie bei Modell 1 auf 1,5 m gesetzt wurde, im Ergebnis unverändert bleibt. Es scheint also tatsächlich die eingegebene Tiefe für die Berechnungen genommen zu

werden. Sie wurde auf 1,5 m gesetzt, weil dies die Modellierung des Magnetik-Profil M21-M2 ergab, das entlang der gleichen Linie verläuft. Die Breite der Anomalie wurde als  $(4,54 \pm 0,58)$  m berechnet. Diese Breite stimmt zwar innerhalb der Fehlergrenzen mit der aus Modell 1 überein, ist jedoch auch nicht wirklich mit dieser zu vergleichen, weil die Tiefe des Störkörpers sehr anders ist und da gewählte Modell grundlegend anders ist, weil die Verkippung bei Modell 1 durch eine Neigung des Gangs und bei Modell 2 durch einen linearen Trend erklärt wird.



**Abbildung 4.6.:** Bougueranomalie des zweiten Modells einer Spaltenintrusion

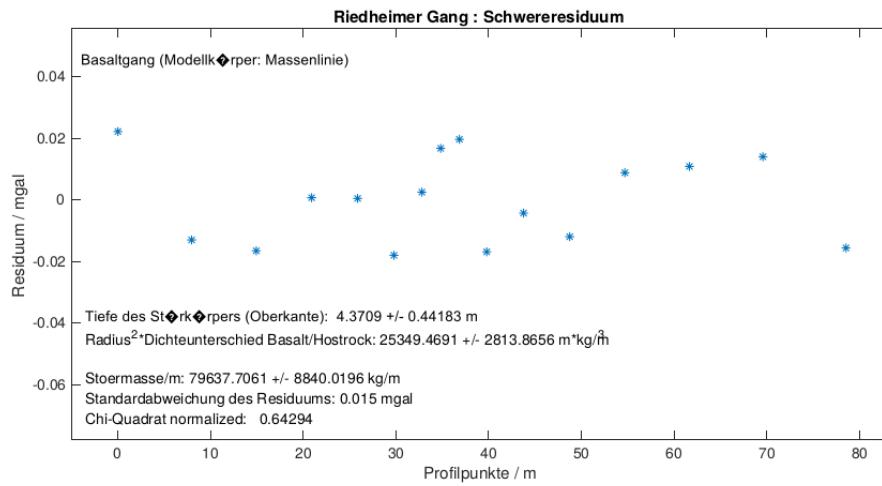


**Abbildung 4.7.:** Schwereresiduum des zweiten Modells einer Spaltenintrusion

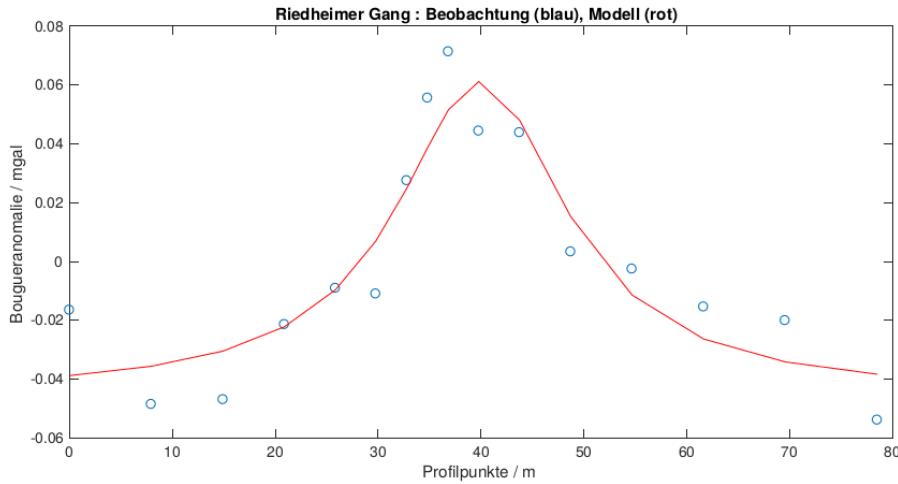
#### 4.4.2. Basaltfluss

Ein Basaltfluss hat eine andere Form als eine Spaltenintrusion. Die Anomalie im Untergrund wird zylinderförmig angenommen, weswegen auch von Massenlinie gesprochen wird. Statt der Breite wird nun der Radius berechnet. Da der Riedheimer Basaltgang in der geologischen Karte aus der roten Kiste eingezeichnet ist und auch

ein Schnitt durch diesen in der Karte abgebildet ist, handelt es sich vermutlich um eine Spaltenintrusion, da der Gang sehr tief nach unten reicht und nicht zylinderförmig ist. Dennoch wird hier ein Modell für einen Basaltgang (Siehe Abbildung 4.8 und 4.9) vorgestellt, um einen Eindruck davon zu erhalten, durch wie viele Modelle eine Anomalie im Untergrund beschrieben werden kann, obwohl diese wegen Randbedingungen eigentlich ausgeschlossen werden können. Das Schwereresiduum ist nicht größer als bei den anderen Modellen der Spaltenintrusion. Das Modell passt also genauso gut an die Messungen wie die anderen. Dennoch wird dieses Modell im Protokoll nicht weiter berücksichtigt, weil die geologische Karte stark darauf hinweist, dass dieses Modell für den Riedheimer Basaltgang nicht zutrifft.



**Abbildung 4.8.:** Bougueranomalie des Basaltfluss



**Abbildung 4.9.:** Schwereresiduum des Basaltfluss

# 5. Fehlerbetrachtungen

## 5.1. Messwertablesungen

Da der Messwert und die Korrekturwerte pro Messpunkt nur ein- bis zweimal erfasst werden, kann keine sinnvolle statistische Aussage über die Messfehler getroffen werden. Stattdessen kann ein Größtfehler abgeschätzt werden, der aus den einzelnen Ableseungenauigkeiten der Messwerte mit Größtfehlerabschätzung berechnet werden kann. Dazu muss man sich überlegen, wie genau die einzelnen Messgrößen abgelesen werden konnten und wie genau die Messgerät positioniert werden konnten.

Als Unsicherheit auf die Messung der Gerätehöhe mit dem Zollstock nehmen wir eine Ungenauigkeit von

$$\delta_{x_{\text{Zollstock}}} = 0,005 \text{ m} \quad (5.1)$$

an. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Ableseungenauigkeit bei einer halben Skaleneinheit liegt, der Zollstock eventuell nicht ganz vertikal gehalten wurde und auch die Wasserwaage möglicherweise nicht ganz genau horizontiert wurde. Der Fehler auf das Messrad wird mit

$$\delta_{x_{\text{Messrad}}} = 0,005 \text{ Skt} \quad (5.2)$$

angenommen, weil die dritte Nachkommastelle zwischen zwei Strichen abgeschätzt werden musste. Dies entspricht also einer halben Skaleneinheit der letzten genau abzulesenden Stelle. Der Fehler auf die Ablesung aus der Gezeitentabelle wird als

$$\delta_{x_{\text{Gezeiten}}} = 0,002 \text{ mGal} \quad (5.3)$$

angenommen und der Fehler auf die Genauigkeiten der Horizontierung mit den Libellen ist

$$\delta_{x_{\text{Libelle}}} = 0,725 \cdot 10^{-4} \text{ rad}, \quad (5.4)$$

weil ein Teilstreich gerade  $1,45 \cdot 10^{-4}$  rad entspricht. Mit diesen Ungenauigkeiten ist

die Ungenauigkeit der Messwertablesung mit Größtfehlerabschätzung gegeben durch

$$\delta_g = \sum_i \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right| \cdot \delta_{x_i} \quad (5.5)$$

$$= 0.3086 \frac{\text{mGal}}{\text{m}} \cdot \delta_{x_{\text{Zollstock}}} + EF_i \cdot \delta_{x_{\text{Messrad}}} + \delta_{x_{\text{Gezeiten}}} + \frac{g_{\text{abs}}}{2} \cdot (\delta_{x_{\text{Libelle}}})^2 \quad (5.6)$$

$$= \begin{cases} 0,0114 \text{ mGal} & \text{für Gerät 156G} \\ 0,0112 \text{ mGal} & \text{für Gerät 686G} \end{cases} \quad (5.7)$$

Mit  $EF_i$  wird der gerätespezifische Eichfaktor bezeichnet. Es ist  $EF_{156G} = 1,04956 \frac{\text{mGal}}{\text{Skt}}$  und  $EF_{686G} = 1,02391 \frac{\text{mGal}}{\text{Skt}}$ . Für den absoluten Schwerewert wurde

$$g_{\text{abs}} = 980722,809 \text{ mGal} \quad (5.8)$$

verwendet. Gemessen wurde dieser Wert an der Hauptschule von Engen und nicht genau in unserem Messgebiet.

Während der Messungen wurden bereits die beiden zeitlich direkt aufeinander folgenden Gravimeterablesungen verglichen. Ergab sich eine Abweichung dieser beiden Ablesungen zueinander von mehr als  $0,01 \text{ Skt} \approx 0,01 \text{ mGal}$ , wurde noch ein drittes mal abgelesen und nur die beiden nahe beieinander liegenden Werte für die Auswertung verwendet. Nun wurde der Fehler bei der Wertablesung als ein größerer Wert berechnet. Unter der Annahme, dass der Ablesefehler wirklich so groß ist, ist es nicht gerechtfertigt, bereits bei einer Abweichung von  $0,01 \text{ mGal}$  noch einmal zu messen, da der Wert noch in der Fehlertoleranz liegt. Es muss aber, um die Schwereanomalie im Untergrund gut detektieren zu können, so genau gemessen werden, dass Abweichungen von  $0,01 \text{ mGal}$  nicht zulässig sind. Mit diesem Hintergrund sollten die angenommenen Fehler noch einmal durchgegangen werden und überlegt werden, ob sie wirklich so groß waren und wie man sie bei der Messung durch zum Beispiel noch saubereres Messen verringern könnte. Auf jeden Fall wurde durch diese Rechnung deutlich, weswegen bei der Messung so sorgfältig und genau vorgegangen werden musste.

## 5.2. Doppelmessungen

Die Standardabweichung, die sich aus der Mittelung der beiden driftkorrigierten Messwerte pro Gerät ergibt, kann mit der Formel für die Standardabweichung

$$\delta_{g_{\text{STD}}} = \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta g_i - \bar{\Delta g})^2}{n-1}} = \begin{cases} 0,0190 \text{ mGal} & \text{für Gerät 156G} \\ 0,0140 \text{ mGal} & \text{für Gerät 686G} \end{cases} \quad (5.9)$$

berechnet werden. In diesen Wert gehen auch Fehler bei der Aufstellung, nicht korrigierte Anteile der Gerätedrift, Temperaturschwankungen und weitere nicht qualitativ angebbare Fehler ein. Deswegen ist dieser Wert wie zu erwarten größer als der Fehler durch Messwertablesungen.

### 5.3. Modellierungen

Der Fehler der Modellierungen ist durch das Schwereresiduum gegeben. Dieses gibt für jeden Messwert die Abweichung von der modellierten Kurve an. Bei den in Kapitel 4.4 vorgestellten Modellen, ist die maximale Abweichung zwischen Modell und Messung 0,03 mGal. Die normalisierte Chi-Quadrat-Variable  $\chi^2$  vergleicht die Streuung des Residuums mit der Streuung der Messungen. Bei  $\chi^2 = 1$  ist die optimale Anpassung erreicht. Also ist die Abweichung des Modells genauso groß wie die Messfehler. Genauer kann die Anpassung gar nicht durchgeführt werden. Bei unseren Modellierungen ist  $\chi^2$  im Bereich von 0,529 bei Modell 1 mit Spaltenintrusion und 0,818 bei Modell 2 mit Spaltenintrusion. Die Anpassung ist also bei dem Modell ohne Neigung besser. Dies steht etwas im Widerspruch zur Magnetik. Dort konnte eine Neigung von  $16^\circ$  des Gangs bei diesem Profil festgestellt werden. Die Neigung aus der Gravimetrie ist mit  $30^\circ$  jedoch um einiges größer.

## 6. Zusammenfassung

Mit der Gravimetrie-Messung ließ sich der Basaltgang beobachten und auch Modelle zu dessen Ausdehnung und Lage finden, wovon zwei in diesem Protokoll vorgestellt und beschrieben wurden. Diese Modelle werden noch mit den anderen Messverfahren verglichen.

Die Breite des Gangs konnte mit der Gravimetrie, je nach Modell, als  $(4,41 \pm 0,40)$  m bzw.  $(4,54 \pm 0,58)$  m bestimmt werden. Mit der Magnetik wurde der Gang entlang des gleichen Profils untersucht. Es ergab sich eine Breite von  $(4,4 \pm 0,5)$  m, was sehr gut mit den Gravimetrie-Breiten übereinstimmt. Der Unterschied der Modelle ist jedoch, dass der Neigungswinkel bei der Magnetik als  $(16 \pm 3)^\circ$  bestimmt werden konnte und in der Gravimetrie je nach Modell  $30^\circ$  bzw.  $0^\circ$  war. Auch die Tiefen  $(0,397 \pm 0,010)$  m bzw. 1,5 m der Gravimetrie-Messungen weichen von der der Magnetik  $(1,6 \pm 0,5)$  m ab.

Mit der Seismik wurde auch versucht, die Tiefe der Gangoberkante zu bestimmen. Dies gelang jedoch nicht, weswegen die Ergebnisse nur soweit verglichen werden können, dass sich die Gravimetrie viel besser, also überhaupt, zur Untersuchung des Basaltgangs eignet.

Mit der Geoelektrik konnte der Basaltgang auch über dem gleichen Profil beobachtet werden, jedoch eignete sich dieses Verfahren nicht dazu, Zahlenwerte zur Ausdehnung oder Tiefenlage des Basaltgangs zu bestimmen. Die Ergebnisse können also nicht weiter verglichen werden.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Gravimetrie-Messung durch die Sorgfalt, mit der sie hier durchgeführt wurde, in der Lage ist, sehr gute Modelle für den Basaltgang zu finden. Dennoch sind diese natürlich nicht als eindeutig richtig zu bewerten, weil das generelle Problem der Mehrdeutigkeit in der Geophysik nicht beseitigt werden kann.

# Anhang

## A. Messprotokolle

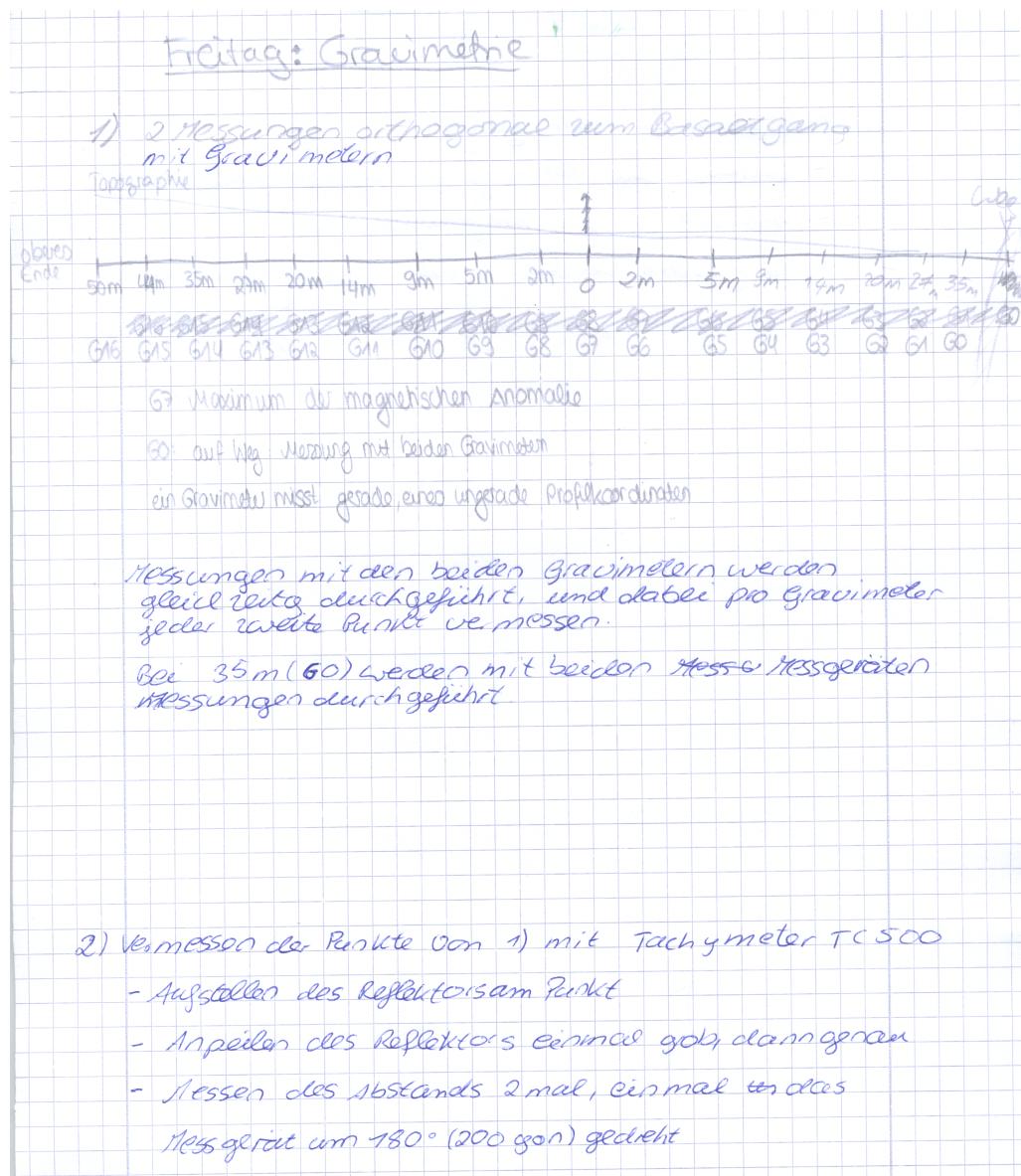
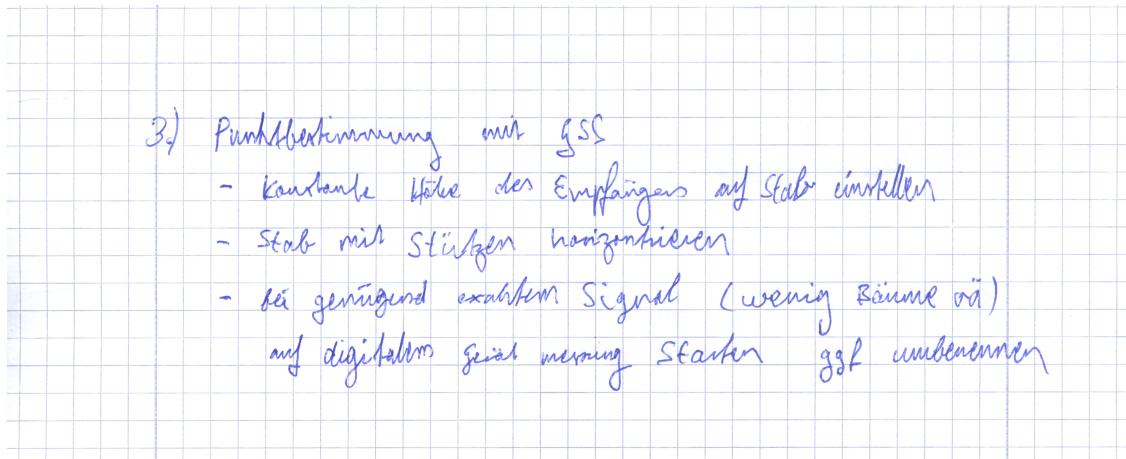


Abbildung A.1.: Versuchsmitschrieb 1



**Abbildung A.2.:** Versuchsmitschrieb 2

Gravimetermessung mit LaCoste-Romberg-Gravimeter		Gerät-Nr.: 150..... Typ: .....		Gravimetermaßstab		Interpol. Faktor			
				SE	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$		
<b>Weggebiet, Aufgabe:</b> <u>PALEO</u> .....									
<b>Innentemperatur</b> .....									
<b>Hp...</b> NN-Höhe des Gravimeterpunktes (Boden)									
<b>H<sub>B</sub>...</b> NN-Höhe des Höhenbezugspunktes (TP, HB ...)									
<b>H<sub>G</sub>...</b> NN-Höhe des Gravimeters									
Punkt H <sub>p</sub> -H <sub>B</sub>	Zeit (MEZ) (MESZ)	Instr.-H. H <sub>G</sub> - H <sub>p</sub>	Temp. V.-Grad.	Ableitung Luftdruck BA-Nr.	Mittel Ablesung	Gez.-korr. Höhen- korr.	$\Delta g_r^t$		
m	h min	m/ $10^{-5} \text{ s}^{-2}$ °C	/ mbar	SE	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$		
1	2	3 / 4	5 / 6	7	8	9 / 10	11		
1	11	50	0.42	3533	7713986	3533	10		
	12	0.92	-	220	-	220	15		
	13	0.69	-	4204	4204	4204	16		
	14	0.78	-	835	835	835	-		
	15	0.81	-	835	835	835	-		
	16	0.81	-	822	822	822	-		
	17	0.81	-	822	822	822	-		
	18	0.81	-	823	823	823	-		
	19	0.81	-	823	823	823	-		
	20	0.81	-	823	823	823	-		
	21	0.81	-	823	823	823	-		
	22	0.81	-	823	823	823	-		
	23	0.81	-	823	823	823	-		
	24	0.81	-	823	823	823	-		
	25	0.81	-	823	823	823	-		
	26	0.81	-	823	823	823	-		
	27	0.81	-	823	823	823	-		
	28	0.81	-	823	823	823	-		
	29	0.81	-	823	823	823	-		
	30	0.81	-	823	823	823	-		
	31	0.81	-	823	823	823	-		
	32	0.81	-	823	823	823	-		
	33	0.81	-	823	823	823	-		
	34	0.81	-	823	823	823	-		
	35	0.81	-	823	823	823	-		
	36	0.81	-	823	823	823	-		
	37	0.81	-	823	823	823	-		
	38	0.81	-	823	823	823	-		
	39	0.81	-	823	823	823	-		
	40	0.81	-	823	823	823	-		
	41	0.81	-	823	823	823	-		
	42	0.81	-	823	823	823	-		
	43	0.81	-	823	823	823	-		
	44	0.81	-	823	823	823	-		
	45	0.81	-	823	823	823	-		
	46	0.81	-	823	823	823	-		
	47	0.81	-	823	823	823	-		
	48	0.81	-	823	823	823	-		
	49	0.81	-	823	823	823	-		
	50	0.81	-	823	823	823	-		
	51	0.81	-	823	823	823	-		
	52	0.81	-	823	823	823	-		
	53	0.81	-	823	823	823	-		
	54	0.81	-	823	823	823	-		
	55	0.81	-	823	823	823	-		
	56	0.81	-	823	823	823	-		
	57	0.81	-	823	823	823	-		
	58	0.81	-	823	823	823	-		
	59	0.81	-	823	823	823	-		
	60	0.81	-	823	823	823	-		
	61	0.81	-	823	823	823	-		
	62	0.81	-	823	823	823	-		
	63	0.81	-	823	823	823	-		
	64	0.81	-	823	823	823	-		
	65	0.81	-	823	823	823	-		
	66	0.81	-	823	823	823	-		
	67	0.81	-	823	823	823	-		
	68	0.81	-	823	823	823	-		
	69	0.81	-	823	823	823	-		
	70	0.81	-	823	823	823	-		
	71	0.81	-	823	823	823	-		
	72	0.81	-	823	823	823	-		
	73	0.81	-	823	823	823	-		
	74	0.81	-	823	823	823	-		
	75	0.81	-	823	823	823	-		
	76	0.81	-	823	823	823	-		
	77	0.81	-	823	823	823	-		
	78	0.81	-	823	823	823	-		
	79	0.81	-	823	823	823	-		
	80	0.81	-	823	823	823	-		
	81	0.81	-	823	823	823	-		
	82	0.81	-	823	823	823	-		
	83	0.81	-	823	823	823	-		
	84	0.81	-	823	823	823	-		
	85	0.81	-	823	823	823	-		
	86	0.81	-	823	823	823	-		
	87	0.81	-	823	823	823	-		
	88	0.81	-	823	823	823	-		
	89	0.81	-	823	823	823	-		
	90	0.81	-	823	823	823	-		
	91	0.81	-	823	823	823	-		
	92	0.81	-	823	823	823	-		
	93	0.81	-	823	823	823	-		
	94	0.81	-	823	823	823	-		
	95	0.81	-	823	823	823	-		
	96	0.81	-	823	823	823	-		
	97	0.81	-	823	823	823	-		
	98	0.81	-	823	823	823	-		
	99	0.81	-	823	823	823	-		
	100	0.81	-	823	823	823	-		
	101	0.81	-	823	823	823	-		
	102	0.81	-	823	823	823	-		
	103	0.81	-	823	823	823	-		
	104	0.81	-	823	823	823	-		
	105	0.81	-	823	823	823	-		
	106	0.81	-	823	823	823	-		
	107	0.81	-	823	823	823	-		
	108	0.81	-	823	823	823	-		
	109	0.81	-	823	823	823	-		
	110	0.81	-	823	823	823	-		
	111	0.81	-	823	823	823	-		
	112	0.81	-	823	823	823	-		
	113	0.81	-	823	823	823	-		
	114	0.81	-	823	823	823	-		
	115	0.81	-	823	823	823	-		
	116	0.81	-	823	823	823	-		
	117	0.81	-	823	823	823	-		
	118	0.81	-	823	823	823	-		
	119	0.81	-	823	823	823	-		
	120	0.81	-	823	823	823	-		
	121	0.81	-	823	823	823	-		
	122	0.81	-	823	823	823	-		
	123	0.81	-	823	823	823	-		
	124	0.81	-	823	823	823	-		
	125	0.81	-	823	823	823	-		
	126	0.81	-	823	823	823	-		
	127	0.81	-	823	823	823	-		
	128	0.81	-	823	823	823	-		
	129	0.81	-	823	823	823	-		
	130	0.81	-	823	823	823	-		
	131	0.81	-	823	823	823	-		
	132	0.81	-	823	823	823	-		
	133	0.81	-	823	823	823	-		
	134	0.81	-	823	823	823	-		
	135	0.81	-	823	823	823	-		
	136	0.81	-	823	823	823	-		
	137	0.81	-	823	823	823	-		
	138	0.81	-	823	823	823	-		
	139	0.81	-	823	823	823	-		
	140	0.81	-	823	823	823	-		
	141	0.81	-	823	823	823	-		
	142	0.81	-	823	823	823	-		
	143	0.81	-	823	823	823	-		
	144	0.81	-	823	823	823	-		
	145	0.81	-	823	823	823	-		
	146	0.81	-	823	823	823	-		
	147	0.81	-	823	823	823	-		
	148	0.81	-	823	823	823	-		
	149	0.81	-	823	823	823	-		
	150	0.81	-	823	823	823	-		
	151	0.81	-	823	823	823	-		
	152	0.81	-	823	823	823	-		
	153	0.81	-	823	823	823	-		
	154	0.81	-	823	823	823	-		
	155	0.81	-	823	823	823	-		
	156	0.81	-	823	823	823	-		
	157	0.81	-	823	823	823	-		
	158	0.81	-	823	823	823	-		
	159	0.81	-	823	823	823	-		
	160	0.81	-	823	823	823	-		
	161	0.81	-	823	823	823	-		
	162	0.81	-	823	823	823	-		
	163	0.81	-	823	823	823	-		
	164	0.81	-	823	823	823	-		
	165	0.81	-	823	823	823	-		
	166	0.81	-	823	823	823	-		
	167	0.81	-	823	823	823	-		
	168	0.81	-	823	823	823	-		
	169	0.81	-	823	823	823	-		
	170	0.81	-	823	823	823	-		
	171	0.81	-	823	823	823	-		
	172	0.81	-	823	823	823	-		
	173	0.81	-	823	823	823	-		
	174	0.81	-	823	823	823	-		
	175	0.81	-	823	823	823	-		
	176	0.81	-	823	823	823	-		
	177	0.81	-	823	823	823	-		
	178	0.81	-	823	823	823	-		
	179	0.81	-	823	823	823	-		
	180	0.81	-	823	823	823	-		
	181	0.81	-	823	823	823	-		
	182	0.81	-	823	823	823	-		
	183	0.81	-	823	823	823	-		
	184	0.81	-	823	823	823	-		
	185	0.81	-	823	823	823	-		
	186	0.81	-	823	823	823	-		
	187	0.81	-	823	823	823	-		
	188	0.81	-	823	823	823	-		
	189	0.81	-	823	823	823	-		
	190	0.81	-	823	823	823	-		
	191	0.81	-	823	823	823	-		
	192	0.81	-	823	823	823	-		
	193	0.81	-	823	823	823	-		
	194	0.81	-	823	823	823	-		
	195	0.81	-	823	823	823	-		
	196	0.81	-	823	823	823	-		
	197	0.81	-	823	823				

**Abbildung A.3.:** 1. Messprotokoll der Messungen mit Gerät Nr. 156 Typ G

Gravimetermessung mit LaCoste-Romberg-Gravimeter										Gerät-Nr.: 156..... Typ: G.....		Gravimetermaßstab SE $10^{-5} \text{ ms}^{-2}$		Interpol. faktof $10^{-5} \frac{\text{ms}}{\text{s}^2} \cdot \text{SE}$	
Meßgebiet, Aufgabe: ..... InnenTemperatur ..... NN-Höhe des Gravimeterpunktes (Boden)															
Tag: ..... Hp... NN-Höhe des Höhenbezugspunktes (TP, HB ...)															
Beobachter: ..... HG... NN-Höhe des Gravimeters															
Punkt Hp-H <sub>B</sub>	Zeit (MEZ) (MESSZ)	Instr.-H. H <sub>G</sub> - H <sub>P</sub>	Temp. V.-Grad.	Luftdruck BA-Nr.	Ab Lesung	Mittel	Gez. - korr.	$\Delta g_r^i$	Avg <sub>r</sub>	Gang- korr.	g <sub>r</sub>	Mittelwert pro Punkt g <sub>r</sub>	$\bar{\Delta}g_r$	g	
m	h min	m/10 <sup>-5</sup> s <sup>-2</sup>	/°C	/mbar	SE	10 <sup>-5</sup> ms <sup>-2</sup>	10 <sup>-5</sup> ms <sup>-2</sup>								
1	2	3 / 4	5 / 6		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
G10 13	13	0.349 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G11 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G12 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G13 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G14 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G15 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G16 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G17 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G18 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G19 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G20 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G21 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G22 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G23 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G24 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G25 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G26 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G27 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G28 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G29 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G30 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G31 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G32 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G33 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G34 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G35 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G36 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G37 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G38 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G39 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G40 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G41 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G42 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G43 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G44 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G45 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G46 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G47 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G48 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G49 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G50 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G51 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G52 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G53 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G54 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G55 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G56 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G57 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G58 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G59 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G60 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G61 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G62 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G63 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G64 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G65 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G66 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G67 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G68 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G69 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G70 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G71 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G72 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G73 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	4813	
G74 15	15	0.350 0.35	-	-	4814 4813	4813	4813								

Gravimetermessung mit LaCoste-Romberg-Gravimeter									Gravimetermaßstab			Interpol.-faktor		
									SE	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2} \cdot \text{SE}$			
Maßgebiet, Aufgabe: A5911 Tag: 10.08.2018 Beobachter: ... Wetter: ...									1,02391					
Punkt $H_p - H_B$	Zeit (MEZ) (MESSZ)	Instr.H. $H_G - H_p$	Temp., V.-Grad.	Ablösung	Mittel	Gez.- höhen- korr.	$\Delta g_r^{\text{Messing}}$	$\Delta g_r^{\text{A-Messing}}$	$g_r'$	Gang- korr.	$\Delta g_r$	Mittelwert pro Punkt $g_r$	$\bar{g}_r$	
m	h min	m/10 <sup>-5</sup> m <sup>-2</sup> OC	/ mbar	SE	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	$10^{-5} \text{ ms}^{-2}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Test	11:	150	0142	3293	721	3986	1872	0072	0072	0130	3987,074	15	16	
	12:	152	0152	3296	722	3986	1872	0072	0072	0130	3987,074			
...G0	12:	145	0155	3295	721	3986	1862	0062	0062	0059	3987,069			
...G0*	14:	152	0158	3293	720	3986	1862	0062	0062	0059	3987,069			
...G1	12:	150	0144	3295	721	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G1	13:	102	0156	3295	721	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G1	15:	08	0155	3293	721	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G2	13:	115	0150	3293	721	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G3	15:	20	0144	3293	721	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G5	13:	126	0145	3295	720	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G5*	15:	32	0138	3293	721	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G7	13:	143	0144	3293	721	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
...G7	15:	51	0134	3293	720	3986	1871	0071	0071	0101	3987,065			
* G7 13 50 # GO 14:57									2933,354 3893,904			Erste Werte von Richtlinie weggelassen Zweiter Wert von Richtlinie weggelassen		
									Gruide 3. Welt (Berechnung dagegen gestoßen): (15.02) 3893.444 4.Welt: 3893.43					

Abbildung A.5.: 1. Messprotokoll der Messungen mit Gerät Nr. 686 Typ G

**Abbildung A.6.:** 2. Messprotokoll der Messungen mit Gerät Nr. 686 Typ G

D:\wp 8 corel\FORMULAR.ETTC500Tachym.wpd

### Tachymetrie mit elektronischem Tachymeter TC 500

Tag:	Beobachter/Gruppe:	H <sub>z</sub> horizontal	Instrument:	H			
Standpunkt Instr.-H. [m]	Zielpunkt	Zielhöhe [m]	Richtung [gon]	Strecke [m] <small>(h)... horiz. s ... schräg</small>	ΔH [m]	H [m]	Bemerkung
F	915 {	1,80	224,143	47,087	4,667		
		{ 1,80	247,40	47,087	4,663		
	914 {	1,80	223,008	38,159	3,804		
		{ 1,80	23,040	38,159	3,797		
	913 {	1,80	21,513	30,279	3,738		
		{ 1,80	221,520	30,279	3,737		
	912 {	1,80	219,191	23,377	2,625		
		{ 1,80	19,179	23,377	2,621		
900	911 {	1,80	216,214	17,499	2,188		
		{ 1,80	16,215	17,499	2,183		
	989 {	1,80	203,521	8,902	1,368		
		{ 1,80	3,523	8,902	1,368		
	98 {	1,80	192,050	6,0242	1,033		
		{ 1,80	1392,064	6,242	1,031		
	97 {	1,80	177,806.	4,606	0,747	{ 177,875 / 4,655 / 0,826 }	
		{ 1,80	377,903	4,6655	0,824		
	96 {	1,80	150,567	3,536	0,552		
		{ 1,80	350,566	3,537	0,542		
	95 {	1,80	87,120	3,878	0,241		
		{ 1,80	297,194	3,820	0,253		
	910 {	1,80	210,997	12,679	1,732		
		{ 1,80	11,0001	12,679	1,733		
	94 {	1,8	62,524	6,742	-0,066		
		{ 1,8	262,523	6,742	-0,066		

0700kl

**Abbildung A.7.: 1. Messprotokoll zur Tachymetrie**

D:\wp 8 core\FORMULAR\E\TC500Tachym.wpd

### Tachymetrie mit elektronischem Tachymeter TC 500

Tag: Beobachter/Gruppe: Instrument: H2 H

Standpunkt Instr.-H. [m]	Zielpunkt	Zielhöhe [m]	Richtung [gon]	Strecke [m] <u>h</u> ... horiz. <u>s</u> ... schräg	$\Delta H$ [m]	H [m]	Bemerkung
	g3	7,80	248,769	11,393	-0,539		
		7,80	48,764	11,373	-0,540		
Wo hier Messung von dort Kette	62	1,80	241,927	17,090	-1,002		
		1,80	41,926	17,090	-1,005		
	60	1,80	36,007	31,857	-2,009		
		1,80	236,010	31,857	-2,004		
	61	1,80	238,046	23,959	-1,565		
		1,80	38,029	23,958	-1,566		
Herrnung Neh	g11	1,30	226,536	53,108	4,701		
		1,30	24,111	53,107	4,701		

Abbildung A.8.: 1. Messprotokoll zur Tachymetrie

## B. Messergebnisse

**Tabelle B.1.:** Teil 1 der Ergebnisse der GPS-Vermessung

Name	Lon(East)	Lat(North)	Ht	Ht(G)	Date	Time
S11	8.757259947	47.768672362	590.6016	590.6016	2018-05-25	13:06:15
S13	8.757859174	47.768857824	590.4168	590.4168	2018-05-25	13:10:05
S14	8.758436670	47.769032070	593.2414	593.2414	2018-05-25	13:12:26
S12	8.758938739	47.769196631	592.2514	592.2514	2018-05-25	13:14:16
E21	8.756625846	47.768510899	589.4322	589.4322	2018-05-25	13:18:53
E22	8.759064096	47.769235580	591.6336	591.6336	2018-05-25	13:38:14
G0	8.753717653	47.766529817	562.3773	562.3773	2018-05-25	14:00:40
G1	8.753810544	47.766564339	562.8301	562.8301	2018-05-25	14:05:10
G2	8.753891246	47.766595629	563.4272	563.4272	2018-05-25	14:07:08
G3	8.753963012	47.766618050	563.7453	563.7453	2018-05-25	14:11:09
G4	8.754018082	47.766644131	564.3878	564.3878	2018-05-25	14:17:03
G5	8.754063775	47.766661286	564.7339	564.7339	2018-05-25	14:19:38
G6	8.754099169	47.766674250	565.0490	565.0490	2018-05-25	14:22:27
G7	8.754122690	47.766683198	565.2543	565.2543	2018-05-25	14:25:25
G8	8.754145448	47.766692940	565.4319	565.4319	2018-05-25	14:27:49
G9	8.754179516	47.766706224	565.7621	565.7621	2018-05-25	14:30:52
G10	8.754225023	47.766724489	566.1333	566.1333	2018-05-25	14:34:27
G11	8.754282894	47.766746486	566.5949	566.5949	2018-05-25	14:36:44
G12	8.754351400	47.766773616	567.0370	567.0370	2018-05-25	14:38:37
G13	8.754432441	47.766804206	567.5562	567.5562	2018-05-25	14:40:08
G14	8.754524035	47.766839825	568.2036	568.2036	2018-05-25	14:42:26
G15	8.754627906	47.766879777	569.1020	569.1020	2018-05-25	14:44:56
G16	8.754697912	47.766906922	569.6233	569.6233	2018-05-25	14:46:44
G4bup	8.754018242	47.766643862	564.3500	564.3500	2018-05-25	14:55:46
G3bup	8.753960912	47.766621604	563.8981	563.8981	2018-05-25	14:56:51
m basis	8.752734929	47.767417892	579.3217	579.3217	2018-05-25	15:14:00
S21	8.753971287	47.766861593	567.1719	567.1719	2018-05-25	15:50:06
M1	8.753887975	47.766798997	566.1727	566.1727	2018-05-25	15:54:11
M4	8.753755419	47.766546207	562.6191	562.6191	2018-05-25	15:59:29
E11	8.753758139	47.766544486	562.6028	562.6028	2018-05-25	16:04:35
M24	8.753938600	47.766595287	563.3535	563.3535	2018-05-25	16:07:16
M21	8.753922700	47.766608115	563.5182	563.5182	2018-05-25	16:08:23
M22	8.753908722	47.766624980	563.6719	563.6719	2018-05-25	16:09:25
M28	8.753920701	47.766644414	563.9703	563.9703	2018-05-25	16:10:49
M29	8.754282539	47.766682749	565.6981	565.6981	2018-05-25	16:12:36
M25	8.754291215	47.766728209	566.2778	566.2778	2018-05-25	16:13:55
M2	8.754278175	47.766743496	566.4378	566.4378	2018-05-25	16:15:45
M23	8.754258391	47.766758244	566.5787	566.5787	2018-05-25	16:16:52
M27	8.754428930	47.766730977	566.5148	566.5148	2018-05-25	16:19:35
M3	8.754148748	47.766500369	562.9455	562.9455	2018-05-25	16:21:31
M26	8.754085876	47.766598253	563.8740	563.8740	2018-05-25	16:23:53
S22	8.754241271	47.766534642	563.7173	563.7173	2018-05-25	16:25:37
S32	8.755205319	47.766637774	565.0036	565.0036	2018-05-25	16:32:15
S31	8.754800319	47.766890040	569.3073	569.3073	2018-05-25	16:36:07
E12	8.754461728	47.766814484	567.6117	567.6117	2018-05-25	16:38:16

**Tabelle B.2.:** Teil 2 der Ergebnisse der GPS-Vermessung

Name	PDOP	Solution Type	GPS sat.	GLONASS sat.	HRMS	VRMS
S11	1251	FIXED	9	7	2	3
S13	1524	FIXED	9	5	2	3
S14	1505	FIXED	9	5	2	3
S12	1489	FIXED	9	5	2	3
E21	1446	FIXED	9	5	2	3
E22	1395	FIXED	8	5	2	3
G0	1499	FIXED	8	5	2	2
G1	1485	FIXED	8	4	2	2
G2	1593	FIXED	6	5	2	3
G3	1585	FLOAT	5	5	235	280
G4	1667	FIXED	7	4	2	3
G5	1286	FIXED	8	5	2	2
G6	1446	FIXED	8	5	3	4
G7	1384	FIXED	8	4	2	3
G8	1657	FIXED	7	4	2	3
G9	1373	FIXED	8	4	2	2
G10	1251	FIXED	8	5	2	2
G11	1245	FIXED	8	5	2	2
G12	1353	FIXED	8	4	2	2
G13	1419	FIXED	8	4	2	2
G14	1354	FIXED	8	4	2	3
G15	2262	FIXED	6	4	3	4
G16	1654	FIXED	6	4	3	3
G4bup	1542	FIXED	8	3	2	3
G3bup	2138	FIXED	7	3	2	3
m basis	2128	FLOAT	6	3	170	284
S21	1682	FIXED	7	5	2	3
M1	1664	FIXED	7	5	2	3
M4	1855	FIXED	7	5	2	3
E11	1857	FIXED	6	5	2	3
M24	1564	FIXED	8	5	2	3
M21	1699	FIXED	8	4	2	3
M22	1545	FIXED	8	5	2	3
M28	1629	FIXED	7	5	2	3
M29	1556	FIXED	8	5	2	3
M25	1565	FIXED	8	5	2	3
M2	1562	FIXED	8	5	2	3
M23	1730	FIXED	7	5	2	3
M27	1561	FIXED	8	5	2	3
M3	2036	FIXED	8	4	2	3
M26	1308	FIXED	9	4	2	3
S22	1545	FIXED	8	5	2	3
S32	1423	FIXED	8	5	2	3
S31	1572	FIXED	8	4	2	3
E12	1356	FIXED	9	4	2	2

**Tabelle B.3:** Ergebnisse der Tachymetrie-Vermessung

Punkt	Profilabstand / m	DGM-Höhe / m	rel. Höhe / m	Rechtswert / m	Hochwert / m	Gel.red. / mGal	Anzahl Quader
G0	0	562.377	0	3481614.437	5292057.407	-0.701	48724416
G1	7.952	562.83	0.441	3481621.413	5292061.223	-0.707	48730108
G2	14.929	563.427	1.003	3481627.473	5292064.683	-0.71	48735953
G3	20.897	563.898	1.467	3481632.705	5292067.555	-0.711	48739638
G4	25.86	564.388	1.941	3481636.998	5292070.046	-0.715	48743504
G5	29.78	564.734	2.245	3481640.429	5292071.942	-0.715	48746239
G6	32.799	565.049	2.554	3481643.087	5292073.375	-0.717	48748960
G7	34.825	565.254	2.804	3481644.854	5292074.365	-0.717	48749949
G8	36.842	565.432	3.039	3481646.563	5292075.442	-0.717	48751858
G9	39.792	565.762	3.375	3481649.121	5292076.911	-0.719	48753719
G10	43.761	566.133	3.739	3481652.539	5292078.931	-0.721	48756535
G11	48.741	566.595	4.193	3481656.885	5292081.363	-0.722	48760343
G12	54.697	567.037	4.63	3481662.03	5292084.363	-0.725	48764060
G13	61.658	567.556	5.144	3481668.115	5292087.745	-0.73	48769726
G14	69.585	568.204	5.808	3481674.994	5292091.684	-0.733	48775439
G15	78.549	569.102	6.672	3481682.794	5292096.101	-0.738	48782045
G16	84.602	569.623	7.708	3481688.051	5292099.103	-0.744	48786748

**Tabelle B.4:** Für die Reduktionen verwendete Messergebnisse

Punkt	driftkorr. Rel.werte in mGal	rel. Höhe in m	rel. Rechtswert in m	rel. Hochwert in m	Gel.red. in mGal
G0	1.4443	0	0	0	-0.701
G1	1.3248	0.441	6.976	3.816	-0.707
G2	1.2165	1.003	13.036	7.276	-0.710
G3	1.1528	1.467	18.268	10.148	-0.711
G4	1.07	1.941	22.561	12.639	-0.715
G5	1.0103	2.245	25.992	14.535	-0.715
G6	0.987	2.554	28.650	15.968	-0.717
G7	0.9663	2.804	30.417	16.958	-0.717
G8	0.9365	3.039	32.126	18.035	-0.717
G9	0.8423	3.375	34.684	19.504	-0.719
G10	0.77	3.739	38.102	21.524	-0.721
G11	0.6413	4.193	42.448	23.956	-0.722
G12	0.55	4.630	47.593	26.956	-0.725
G13	0.4348	5.144	53.678	30.338	-0.730
G14	0.3005	5.808	60.557	34.277	-0.733
G15	0.0953	6.672	68.357	38.694	-0.738
G16	0	7.708	73.614	41.696	-0.744

**Tabelle B.5:** Werte der durchgeführten Reduktionen und Wert der resultierenden Bougueranomalie

Messpunkt	Profilkoordinate in m	$\delta_{\text{gBouguer}}$ in mGal	$\delta_{\text{gNiv}}$ in mGal	$\delta_{\text{gBreite}}$ in $\mu\text{Gal}$	$\delta_{\text{gGeol}}$ in $\mu\text{Gal}$	$g_{\text{Bouguer}}$ in mGal
G0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.444
G1	7.952	0.046	-0.136	3.13	-0.200	-0.707
G2	14.929	0.105	-0.310	5.97	-0.236	-0.71
G3	20.897	0.154	-0.453	8.32	-0.376	-0.711
G4	25.860	0.203	-0.599	10.36	-0.364	-0.715
G5	29.780	0.235	-0.693	11.92	-0.444	-0.715
G6	32.799	0.268	-0.788	13.09	-0.540	-0.717
G7	34.825	0.294	-0.865	13.91	-0.568	-0.717
G8	36.842	0.318	-0.938	14.79	-0.482	-0.717
G9	39.792	0.354	-1.042	15.99	-0.489	-0.719
G10	43.761	0.392	-1.154	17.65	-0.444	-0.721
G11	48.741	0.439	-1.294	19.64	-0.516	-0.722
G12	54.697	0.485	-1.429	22.10	-0.487	-0.725
G13	61.658	0.539	-1.587	24.88	-0.611	-0.73
G14	69.585	0.608	-1.792	28.11	-0.640	-0.733
G15	78.549	0.699	-2.059	31.73	-0.721	-0.738
G16	84.602	0.807	-2.379	34.19	-0.751	-0.744

# 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.