

Tobias Werner

**Geodätische Überwachung von Hangrutschungen zur
Sicherung neu gebauter Erschließungsanlagen bei der
Weinbergsflurbereinigung Graach/Mosel**

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science im
Studiengang Geoinformatik und Vermessung

Hochschule Mainz
Fachbereich Technik
Lehrinheit Geoinformatik und Vermessung

Betreuer: Ministerialrat a.D. Prof. Axel Lorig
Bearbeitungszeitraum: 20.05.2019 bis 29.07.2019

Standnummer: B0318

Mainz
Juli 2019

© 2019 - Tobias Werner

Die Bilder in dieser Arbeit sind teilweise urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar.

Kurzzusammenfassung

Dem Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz sind schon mehrere Jahre Probleme mit Hangrutschungen und Felsstürzen im Bereich der Mittelmosel bekannt. Diese oft aus vielen einzelnen Rutschungen bestehenden Gebiete können im Zuge von Flurbereinigungen, Straßenbaumaßnahmen oder Gebäudekonstruktionen, wenn sie nicht frühzeitig erkannt werden, gewaltige Schäden und zusätzliche Kosten in Millionenhöhe verursachen. Deshalb erfolgte bereits 2005 die Anfertigung einer Karte zur Feststellung der Hangstabilität aus Luftbildern, Archivunterlagen und einer detaillierten Geländekartierung. Aufgrund der Erkenntnisse wurden vor der Anordnung des Flurbereinigungsverfahrens Graach-Himmelreich vom Landesamt für Geologie und Bergbau explizite geophysikalische Untersuchungen im Gebiet durchgeführt, um die Risiken abzuschätzen und die bestmöglichen Resultate zu erzielen. Obwohl dem DLR Mosel also die geologische Situation an der Mittelmosel bekannt war, wurde das Flurbereinigungsverfahren Graach-Himmelreich angeordnet, um die Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Bewirtschaftung zu verbessern, sowie die allgemeine Landeskultur zu fördern. Im Zuge von Baumaßnahmen zum Wege und Gewässerplan nach §41 FlurbG wurden Wege und Stützmauern in Bereichen gebaut, in denen ein erhöhter Erhaltungsaufwand zu erwarten ist, ohne spezielle Hangsicherungsmaßnahmen mit zu installieren.

Vom DLR wurde zur frühzeitigen Erkennung von Deformationen ein lokales Überwachungsnetz aus SAPOS-Kontrollpunkten an den bebauten Bereichen angelegt, welche in einem regelmäßigen Zyklus erneut aufgemessen werden, um Bewegungen zu erkennen und Maßnahmen zu ergreifen. Als Kernaufgabe der Bachelorarbeit sollte ein neues Überwachungsnetz mit Hilfe von terrestrischen Messungen angelegt werden, mit Anschluss an „deformationsfreies“ Gebiet, um einen Vergleich zur SAPOS-Messung herzustellen und ein koordinatenmäßig genaueres Ergebnis im Subzentimeterbereich in der Lage und im Bereich von einem Zentimeter in der Höhe zu erzielen, um die teilweise sehr geringen Deformationen erkennen zu können. Dazu sollte zuerst ein Gesamtnetz aufgemessen werden, welches alle verbleibenden Kontrollpunkte enthält und ein Rahmennetz, welches die Standpunkte des Gesamtnetzes enthält. Das Rahmennetz sollte nach der Messung ausgeglichen werden und durch eine 7-Parameter-Helmert-Transformation sollte das Gesamtnetz auf das Rahmennetz transformiert werden. Die neuen 4 Anschlusspunkte in deformationsfreiem Gelände wurden entlang der B53 auf

der Moselseite am anliegenden Fahrradweg gelegt, um in möglichst sicherem Gelände zu stehen. Die Punkte wurden mit Bolzen vermarktet und über die Freie Stationierung in Lage und Höhe mit einem Leica TS06 bestimmt. Die Daten zum Anschluss an das Landesnetz, um den Datumsdefekt aufzuheben, wurden vom Geodatenserver der Vermessungs- und Katasterverwaltung zu Verfügung gestellt. Der neue Netzaufbau wurde zuerst mit der Netzplanungssoftware Netz2D vorbereitet, um eine ausreichende Genauigkeit zu garantieren und den Arbeitsaufwand zu minimieren. Danach wurden die vorgegebenen Beobachtungen von den gewählten Standpunkten aus durchgeführt und das Rahmennetz wurde mit der Software Leica Geo Office klassisch 3-dimensional ausgeglichen und die Transformation mit dem Gesamtnetz wurde durchgeführt. Anschließend wurden die endgültigen Koordinaten aus den Beobachtungen errechnet und mit den aktuellen GNSS-Beobachtungen verglichen und die daraus resultierenden Deformationen wurden abgeleitet und bewertet. Mit den Ergebnissen wurde eine allgemeine Bilanz für terrestrische Netzmessungen in steilem stark bewachsenem Gelände gezogen.

(siehe Übersichtskarte Anhang A)

Abstract Summary

The State Office of Geology and Mining of Rhineland-Palatinate has known for many years, that problems with landslides and rock rush frequently occur in the area of the Middle Moselle. These areas, which often consist of several individual landslides, can cause enormous damage and additional costs in the millions if they are not detected early as part of land consolidation, road construction or building construction. For this reason, in 2005, a map to determine the slope stability was made from aerial photos, archive documents and a detailed area mapping. Based on the findings, explicit geophysical surveys were carried out in the area prior to the arrangement of Graach-Himmelreich land consolidation procedure to assess the risks and achieve the best possible results. Even though the DLR Moselle was well aware of the geological situation on the Middle Moselle, the Graach-Himmelreich land consolidation was arranged with the goal of improving the production and working conditions in cultivation and to promote the general culture of the region. In the course of construction measures to the ways and water plan according to §41 FlurbG ways and

supporting walls were built in areas, in which increased maintenance expenditure is to be expected, without installing slope protection measures.

The DLR created a local monitoring network of SAPOS control points on the built-up areas for the early detection of deformations, which are re-measured in a regular cycle to detect movements and take action. The core task of the bachelor thesis was to create a new surveillance network with the help of terrestrial measurements connected to "deformation-free" area to compare to the SAPOS measurement and to reach a coordinate accuracy result in the sub centimeter range in the position and in the range of one centimeter in height. With this higher accuracy, the sometimes-minuscule deformations should all be detected. For this purpose, first an overall network should be measured, which contains all remaining control points and a framework network, which contains the views of the entire network. The framework network should be compensated after the measurement and a 7-parameter Helmert transform should transform the framework network to the overall network

The new connection points in a deformation free area were laid along the B53 on the Moselle side of the road into the cycle path to stand in the safest spot possible. The points were marked with bolts and determined by the free stationing method in position and height with a Leica TS06. The data for connecting to the state network to cancel out the data defect was provided by the geodata server for surveying and cadastral administration. The network setup was first prepared with the network planning software Netz2D to ensure sufficient accuracy and to minimize the workload. Thereafter, the prescribed observations were made from the selected points of view, the framework network was 3-dimensionally balanced with the Leica Geo Office software, and a transformation to the overall network was performed. Subsequently, the final coordinates from the observations were calculated and compared with the current GNSS observations and the resulting deformations were derived. The results produced a general summary of terrestrial network measurements in steep heavily overgrown terrain.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	3
Abstract Summary	4
Erklärung	6
Inhaltsverzeichnis.....	7
Abbildungsverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Verzeichnis der Formelzeichen und Symbole	10
1 Ziele der Bachelorarbeit und Formulierung der Forschungsfragen	11
2 Der Stand der Forschung bei geodätischen Überwachungsnetzen zu Hangrutschungen mit verschiedenen Lösungsansätzen	13
3 Konkrete Problemstellung in der Weinbergs Flurbereinigung am Fallbeispiel Graach-Himmelreich	16
3.1 Ausbau anhand des Wege und Gewässerplans nach §41 FlurbG	17
3.2 Deformationen an Mauern und Wegen im Flurbereinigungsgebiet	19
3.3 Geologische Eigenschaften des Gebietes.....	20
4 Vermarkung und tachymetrische Bestimmung von Datumspunkten außerhalb der Rutschfläche	24
4.1 Vermarkung der Datumspunkte entlang der B53.....	24
4.2 Anschlusspunkte für die tachymetrische Neubestimmung	25
4.3 Aufnahme der Datumspunkte über die freie Standpunktwahl nach Lage und Höhe.....	26
5 Erstellen der Netzpläne unter Einschluss aller verbleibenden Kontrollpunkte und der Datumspunkte	29
5.1 Übersicht über das Gebiet der Netzmessung und die Kontrollpunkte	29
5.2 Netzplansoftware Netz2D	30
5.3 Optimierung der Beobachtungen des Gesamtnetzes mit der Netzplanungssoftware.....	30
5.4 Optimierung der Beobachtungen des Rahmennetzes mit der Netzplanungssoftware.....	32
6 Netzmessungen und Ausgleichung der Beobachtungen	34
6.1 Vorgehen bei den Netzmessungen	34
6.2 Ausgleichung der Messergebnisse	35
6.3 Transformation auf das Rahmennetz.....	37
6.4 Endgültige Ergebnisse der Netzmessungen.....	38

7	Gegenüberstellung der bisherigen Messergebnisse durch GNSS-Messung und der tachymetrischen Messung.....	39
7.1	Tabellarische Gegenüberstellung.....	39
7.2	Ableiten der Deformationen der Kontrollpunkte	41
7.3	Bewertung der Maßnahmen gegen die Rutschungen.....	41
7.4	Graphische Darstellung als Rutschvektor	42
8	Reflexion der Forschungsfragen und Fazit der Bachelorarbeit	44
	Glossar.....	49
	Literaturverzeichnis.....	50
	Stichwortverzeichnis.....	51
	Anhang A : Übersichtskarte Netzmessung.....	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt geologisches Gutachten (*Rogoll 2008).....	17
Abbildung 2: Ausschnitt Wege- und Gewässerplan-Kurve	18
Abbildung 3:(rechts) Gefälle im zentralen Teil	18
Abbildung 4: (links) Ausschnitt Wege- und Gewässerplan- zentraler Teil.....	18
Abbildung 5: Ausschnitt Wege- und Gewässerplan- obere Mauer.....	19
Abbildung 6: Schäden an der Stützmauer unter Kontrollpunkt 45	20
Abbildung 7: Übersicht geologische Untersuchungen (*Rogoll 2008).....	21
Abbildung 8: Schnitt B-B' (*Rogoll 2008)	22
Abbildung 9: Schnitt A-A' (*Rogoll 2008).....	22
Abbildung 10: Radweg entlang der B53.....	25
Abbildung 11: Polygonpunkt 3634	26
Abbildung 12: Messaufbau zur Bestimmung der Datumspunkte (QGIS und Google WMS-Daten)	28
Abbildung 13: Guter Messaufbau (rechts) und schlechter Messaufbau (links)	31
Abbildung 14: Netzplan für das Gesamtnetz	32
Abbildung 15: Netzplan für das Rahmennetz	33
Abbildung 16: Optimaler Messaufbau einer Netzmessung (*Neitzel).....	35
Abbildung 17: Netzausgleichung des Rahmennetzes	36
Abbildung 18: Matrizengleichung der 3D-Helmert-Transformation.....	37
Abbildung 19: Endgültige Koordinaten der terrestrischen Netzmessung.....	38
Abbildung 20: Vergleich GNSS-Messung und terrestrische Messung.....	40
Abbildung 21: Rissmonitor an Kontrollpunkt	42
Abbildung 22: Rutschvektor aus dem tabellarischen Vergleich (QGIS und Google WMS-Daten)	43
Abbildung 23: Erdstützscheiben an Stützmauer.....	46

Abkürzungsverzeichnis

DLR	Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum
VermKV	Vermessungs- und Katasterverwaltung
HEPS	Hochpräziser Echtzeit Positionierungsservice
GPPS	Geodätischer Postprocessing Positionierungs-Service
UAV	Unmanned aerial vehicle
FlurbG	Flurbereinigungsgesetz
ÖbVI	Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur
GST	Genauigkeitsstufe
KRS	Koordinatenreferenzsystem

Verzeichnis der Formelzeichen und Symbole

$(X, Y, Z)^A$	Koordinatenvektor im Zielsystem
c^x, c^y, c^z	Verschiebungen entlang der Koordinatenachse
μ	Maßstabsfaktor
r^x, r^y, r^z	Drehwinkel um die Koordinatenachse
$(X, Y, Z)^B$	Koordinatenvektor im Ausgangssystem
l	Längsabweichung
x	Ostwert
y	Nordwert

1 Ziele der Bachelorarbeit und Formulierung der Forschungsfragen

Das zentrale Ziel der Bachelorarbeit war die terrestrische Netzmessung von vorher gewählten Standpunkten aus mit einem Anschluss an stabiles Gebiet, bei welcher alle verbleibenden Kontrollpunkte aus den vorhergegangenen GNSS-Messungen mit einbezogen werden sollten. Zudem sollte ein Rahmennetz aufgenommen und ausgeglichen werden mit den Beobachtungsstandpunkten der Netzmessung, um das gesamte Gebiet für eine spätere Transformation abzudecken. Der Anschluss an das deformationsfreie Gebiet erfolgt über 4 vorher hochpräzise bestimmte Punkte entlang der Bundesstraße 53 an der Mosel. Dadurch sollten alle Kontrollpunkte mit einer höheren Lagegenauigkeit im Subzentimeterbereich und einer Höhengenaugkeit im Bereich von einem Zentimeter bestimmt werden im Gegensatz zur Genauigkeit der vorhergegangenen GNSS-Messungen mit SAPOS-HEPS mit einer Genauigkeit von 1-2 cm in der Lage und 2-3 cm in der Höhe(*<https://www.sapos.de/heps.html>). Mit dieser höheren Genauigkeit können vom DLR auch in Zukunft die teilweise sehr geringen Deformationen an den Bauwerken detektiert werden und Gegenmaßnahmen können ergriffen werden. Zusätzlich können mit diesen genaueren Messergebnissen zukünftige Baumaßnahmen im Flurbereinigungsgebiet oder bodenverbessernde Maßnahmen effizienter geplant werden. Außerdem sollte durch die Netzmessung ein Vergleich zu den bereits erfolgten GNSS-Messungen hergestellt werden, um die Ergebnisse in Relation zu setzen und festzustellen, ob diese Form der Netzmessung für das DLR in Zukunft sinnvoll ist und in dieser Form weiter durchgeführt werden kann. Es wurden also aus den Ergebnissen direkte Deformationen abgeleitet, um zu sehen, wie diese zu den Ergebnissen aus den GNSS-Messungen passen.

Zudem eignet sich ein Überwachungsnetz aus terrestrischen Punkten besser, da das DLR derzeit nur teilweise über GPS-Systeme verfügt und die Messung mit einem Tachymeter somit logistisch besser durchgeführt werden kann. In ganz Rheinland-Pfalz erledigen 3 Passpunktbestimmer alle Messaufgaben mit GPS-Systemen für das DLR und somit sind diese sehr gefragt und es entstehen oft lange Wartezeiten. Die terrestrische Netzmessung könnte somit also die Passpunktbestimmer entlasten. Außerdem sollen im Umfang der Bachelorarbeit die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

- Ist die tachymetrische Netzmessung wirtschaftlich und technisch sinnvoll im Gegensatz zur GNSS-Messung zur Feststellung von Deformationen an Kontrollpunkten?
- Sind die Maßnahmen, die bisher zur Verminderung von Rutschungen vorgenommen wurden erfolgreich gewesen und wie könnten sie optimiert werden?
- Wie sollte mit Flurbereinigungsgebieten verfahren werden, in denen es bekannter weißer zu Deformationen kommen wird, sollten diese Verfahren überhaupt in dieser Form eingeleitet werden und wie kann man sie bestmöglich bearbeiten und abschließen?

2 Der Stand der Forschung bei geodätischen Überwachungsnetzen zu Hangrutschungen mit verschiedenen Lösungsansätzen

Für das Deformationsmonitoring von Hangrutschungen werden zum aktuellen Zeitpunkt sowohl geodätische Messsysteme, als auch geotechnische Messsensoren verwendet. Diese können separat genutzt werden oder in einem kombinierten Monitoring System um eine größere Vielfalt an Daten zu erfassen. Bei den geotechnischen Messsensoren handelt es sich um Erfassungssysteme für physikalische Eigenschaften, wie z.B. Schlauchwaagen, Seismographen, Inklinometer (Neigungsmesser), Beschleunigungssensoren oder Extensometer. Die Daten der geotechnischen Sensoren werden ohne direkte Georeferenzierung erfasst weshalb eine Kombination mit geodätischen Messsystemen in der heutigen Deformationsüberwachung häufig angewendet wird. Geodätische Messsysteme erfassen Bewegungen georeferenziert und auf ein festes Objekt bezogen und benötigen somit einen festen Bezug an einem zu überwachendem Objekt um immer wieder eine Relation zur vorherigen Messung zu haben. Im Bereich der geodätischen Messsysteme zur Überwachung von Hangrutschungen gewinnen Laserscanner zunehmend an Bedeutung, da in kürzester Zeit eine Vielzahl von Objektpunkten erfasst werden können und die Daten für diverse Auswertezwecke verwendet werden können. Zudem lassen sich durch Laserscanner flächenhafte Deformationen sehr einfach darstellen, durch die Bildung und Auswertung von Punktwolken. 3D-Laserscanner werden immer leistungsfähiger und in Deformationsmessungen konnten auf Distanzen von ca. 50m bereits Deformationen im Millimeterbereich detektiert werden, wobei bei Long-Range Scanner mit einer Reichweite von >500m geringe Deformationen immer noch schwer zu detektieren sind. (*Evaluierung eines modernen Messverfahrens zur Deformationsanalyse flächenhafter Ingenieurbauwerke 2018). Deshalb sind Netzmessungen mit einem Tachymeter aktuell immer noch das übliche geodätische Überwachungsverfahren, da die Deformationen oft sehr gering sind und die Rutschgebiete relativ groß, weshalb große Zielweiten erforderlich sind. Mit neusten Tachymetern sind Deformationen im Submillimeterbereich oder geringen Millimeterbereich auf große Zielweiten trotzdem noch festzustellen. Allerdings erfordern die Netzmessungen mit Tachymeter oft einen hohen Arbeitsaufwand, wenn die Sichtverhältnisse im Gelände durch starkes Gefälle eingeschränkt sind oder es hohen Aufwuchs im zu erfassenden Gelände gibt oder das Gebiet sehr unübersichtlich und

groß ist. Bei einer Netzmessung werden entweder zuerst feste Datumspunkte in stabilem Gelände bestimmt, oder diese sind schon vorhanden. Anschließend werden über die freie Standpunktwahl mit Anschluss an die stabilen Datumspunkte die Kontrollpunkte von verschiedenen gut verteilten Positionen aufgenommen. Danach werden die Ergebnisse ausgeglichen um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. In Anschluss an diese Nullmessung erfolgen weitere Messungen mit gleichem Aufbau, um aus den Ergebnissen die Deformationen abzuleiten(*Lehmann/Scheffler 2006). Durch SAPOS-HEPS ist es zudem möglich Deformationsmonitoring mit GNSS-Messungen durchzuführen, wobei allerdings nur mit einer Genauigkeit von 1-2 cm bei Real-Time-Kinematik in der Lage gerechnet werden kann und 2-3cm in der Höhe. Mit SAPOS-GPPS sind ca. 1cm in der Lage und 1-2cm in der Höhe zu erreichen, weshalb geringe Deformationen somit nicht erfasst werden und anhand der Standardabweichung verzerrt werden, oder erst zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Rutschung schon fortgeschrittener ist erfasst werden. Somit eignet sich die Variante eher für Gebiet mit Genauigkeitsanforderungen im cm- Bereich.

Eine weitere Methode des Deformationsmonitoring, die immer mehr an Bedeutung gewinnt ist die photogrammetrische Auswertung von Drohnenflügen. Mittels UAV wurden bei Messungen von Kontrollpunkten, die vorher durch eine Netzmessung bestimmt wurden, Genauigkeiten von ca. 1 cm in der Lage und ca. 2 cm in der Höhe nachgewiesen. Dabei wurde eine Starrflügler-Drohnen verwendet, die den neusten Standards der Technik entspricht. Somit könnten auch durch Bildflüge mit UAV's Deformationen im Zentimeterbereich erfasst werden und große Bereiche damit abgedeckt werden. Allerdings ist bei extremen Steillagen oft viel Aufwand nötig und die Parameter, wie Flughöhe, Neigungswinkel sowie Flugmuster müssen präzise vorgeplant werden und der Aufwertungsaufwand kann sehr hoch sein. Zudem ist das Equipment für solche Messungen extrem kostspielig und die Drohnen benötigen oft eine Fluglizenz. (*Allgemeine Bauzeitung 2018)

Außerdem wird die Radarinterferometrie immer relevanter für die Erfassung von Bodenbewegungen. Aus Interferogrammen, die die Phasendifferenzen zweier Radaraufnahmen enthalten, können kleine Erdbewegungen zwischen den Aufnahmezeitpunkten detektiert werden. Dabei werden von zwei Radarsensoren elektromagnetische Signale zur Erdoberfläche gesendet, die größtenteils reflektiert und wieder von Radarantennen empfangen werden. Dabei werden die Intensität und die Phasenlage der reflektierten Signale gemessen, woraus die Entfernung zwischen Sensor und Erdoberfläche bestimmt werden kann. Durch die Überlagerung der beiden

Radaraufnahmen entstehen die Interferogramme. Die Genauigkeit von Bodenbewegungen im Millimeterbereich ist allerdings nur unter günstigen Bedingungen möglich (geringe Vegetation und geringe atmosphärische Beeinflussung), weshalb die Methode nur vereinzelt angewendet wird. Zudem sind die Daten nicht garantiert verfügbar und die Technik sehr teuer und aufwendig, weshalb sich die Methode nur für große Gebiete mit erheblichem Interesse eignet. (*Geomonitoring S. Knospe 2011)

3 Konkrete Problemstellung in der Weinbergs Flurbereinigung am Fallbeispiel Graach-Himmelreich

Aufgrund der komplexen geologischen Strukturen im Flurbereinigungsgebiet Graach-Himmelreich wurden bereits vor Anordnung zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die einzelne Rutschmassen im Hangbereich mit kriechender Bewegung feststellen konnten (teilweise 3-5cm/Jahr) (*Rogoll2008). Einige Bereiche (rot markiert) sollten deshalb vom Ausbau ausgenommen werden, da hohe Mehrkosten durch Sanierungsarbeiten aufgrund der Rutschbewegung entstehen würden. Bereiche, in denen ein erhöhter Unterhaltungsaufwand zu erwarten war (gelb markiert), wurden nichts desto trotz bebaut und bedürfen deshalb einer dauerhaften Überwachung durch die Flurbereinigungsbehörde, da die Bewegungen von vielen physikalischen Faktoren abhängen und schwer einzuschätzen sind. Da die Ausbaurkosten für das Gebiet bereits über einer Million € betragen, sollen die Sanierungskosten durch frühzeitige Erkennung und Ergreifen von Gegenmaßnahmen so gering wie möglich gehalten werden, weshalb ein genaues Überwachungsnetz mit Einschluss der bebauten Stellen notwendig ist. Die Sanierungskosten werden von den Beteiligten im Verfahrensgebiet zum Teil mit getragen als Teil der Eigenleistung, somit ist das Interesse sehr groß, die Sanierungskosten so gering wie möglich zu halten, da schwerwiegenden Auswirkungen nicht mit den Richtlinien des FlurbG zu vereinbaren wären. Da das Gebiet der Hangrutschungen sehr groß ist, musste der Anschluss an deformationsfreies Gebiet weit abseits der Kontrollpunkte liegen. Zudem ist das einzige Gebiet, das für die Vermarktung in Frage kommt nur spärlich mit Punkten von ausreichender Genauigkeit bedeckt und durch die Lage an der Bundesstraße können Abweichungen durch teilweise starken Verkehr nicht ausgeschlossen werden, was die Genauigkeit der Messungen vermindert.

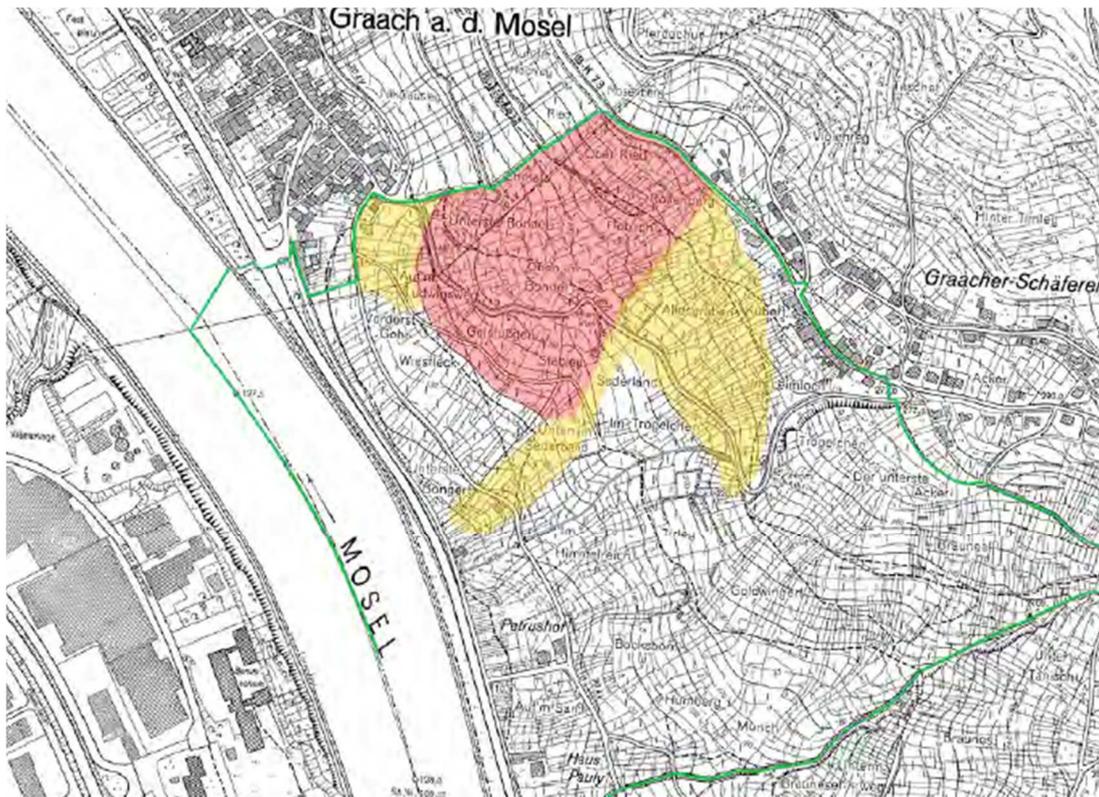


Abbildung 1: Ausschnitt geologisches Gutachten (*Rogoll 2008)

3.1 Ausbau anhand des Wege und Gewässerplans nach §41 FlurbG

Im Zuge eines Flurbereinigungsverfahrens werden zusätzliche öffentliche Anlagen geschaffen, um die agrarstrukturellen Verhältnisse zu verbessern. Im Verfahren Graach-Himmelreich handelt es sich dabei vor allem um Stützmauern und um Wege, um die Steillagen besser befahrbar für die Winzer zu machen und die Spurbreite zu vergrößern um effizientere Maschinen verwenden zu können. An 3 Stellen der neugebauten Anlagen wurden GPS-Kontrollpunkte angebracht um dort die Deformationen zu bestimmen, nachdem dort Schäden an den Bauwerken festgestellt wurden. Im Zentrum des Verfahrensgebiets wurde eine breite Kurve mit zusätzlicher Weganbindung und einer Stützmauer neu errichtet, an welcher nachträglich Kontrollpunkte auf der Mauer angebracht wurden. Während weiteren Bauarbeiten im Verfahren gab es bereits erhebliche Deformationen an diesen Kontrollpunkten von über 10 cm.

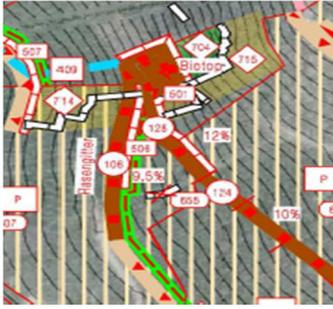


Abbildung 2: Ausschnitt Wege- und Gewässerplan-Kurve

Des Weiteren wurde im zentralen Teil des Flurbereinigungsgebietes ein neuer Mineralgemisch-Weg angelegt mit einer zusätzlichen Stützmauer zum Steilhang nach oben hin und einer Wendekurve. Der Bereich wurde ebenfalls nachträglich mit Kontrollpunkten auf der Stützmauer versehen. Im Hangbereich über dieser Kurve wurden zusätzliche Kontrollpunkte angebracht, da sich dort eine große Rutschmasse befindet. Das starke Gefälle in diesem Bereich macht die Kontrollpunkte nur schwer zugänglich und erfordert einen hohen Arbeitsaufwand um die Punkte mit einer GNSS-Antenne oder einem Prisma zu erreichen und für eine Messung zu nutzen.

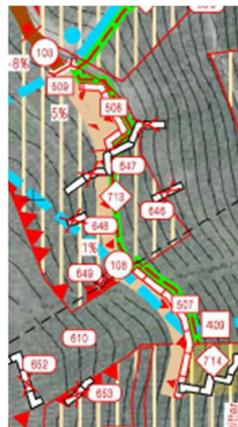


Abbildung 3:(rechts) Gefälle im zentralen Teil



Abbildung 4: (links) Ausschnitt Wege- und Gewässerplan- zentraler Teil

Außerdem wurde im Norden des Verfahrensgebiets ein befestigter Feldweg angelegt aus Kopfsteilpflaster mit einer langgezogenen Stützmauer zum oberen Hang hin, wobei am gesamten Weg nachträglich beidseitig Kontrollpunkte angelegt wurden. Dieser Bereich ist vom zentralen Teil und der Kurve durch das starke Gefälle abgetrennt und nur schlecht sichtbar.



Abbildung 5: Ausschnitt Wege- und Gewässerplan- obere Mauer

3.2 Deformationen an Mauern und Wegen im Flurbereinigungsgebiet

Im Bereich der Kurve weisen die Kontrollpunkte teilweise Deformationen von über 15 cm in Rechts - und Hochwert und 5-9 cm in der Höhe im Vergleich zur Nullmessung im August 2018 auf (Stand 07.05.2019). Es sind klare Risse im Mauerwerk zu erkennen und bei vertikalem Blick auf die Mauer lassen sich gravierende Verschiebungen erkennen. Im Bereich der zentralen Mauer am Mineralgemisch-Weg weisen die Kontrollpunkte Deformationen von 1-8 cm in der Lage und 1-9 cm in der Höhe auf im Vergleich zur Nullmessung im März 2018 (Stand 25.04.2019) Teilweise wurden die Kontrollpunkte im steilen Gefälle dort schon im Jahr 2016 angelegt. Die Kontrollpunkte an der Stützmauer im Norden verzeichnen die geringsten Deformationen mit 0.5-3 cm in der Lage und 1-4 cm in der Höhe in Bezug auf die Nullmessung im August 2018 (Stand 25.04.2019).



Abbildung 6: Schäden an der Stützmauer unter Kontrollpunkt 45

3.3 Geologische Eigenschaften des Gebietes

Bereits aus der Hangstabilitätskarte zur Moselregion lässt sich erkennen, dass die Rutschungen zwar in einem großen zusammenhängenden Gebiet auftreten, aber aus vielen einzelnen Schollen bestehen. Zur genaueren Untersuchung wurden Inklinometer in das Gelände gebohrt in bis zu 75m Tiefe um die geophysikalischen Eigenschaften zu analysieren. Es wurden jeweils 3 Inklinometer in 2 Geraden den Hang entlang in die Erde eingelassen, um einen differenzierten Eindruck von der Beschaffenheit zu erhalten.

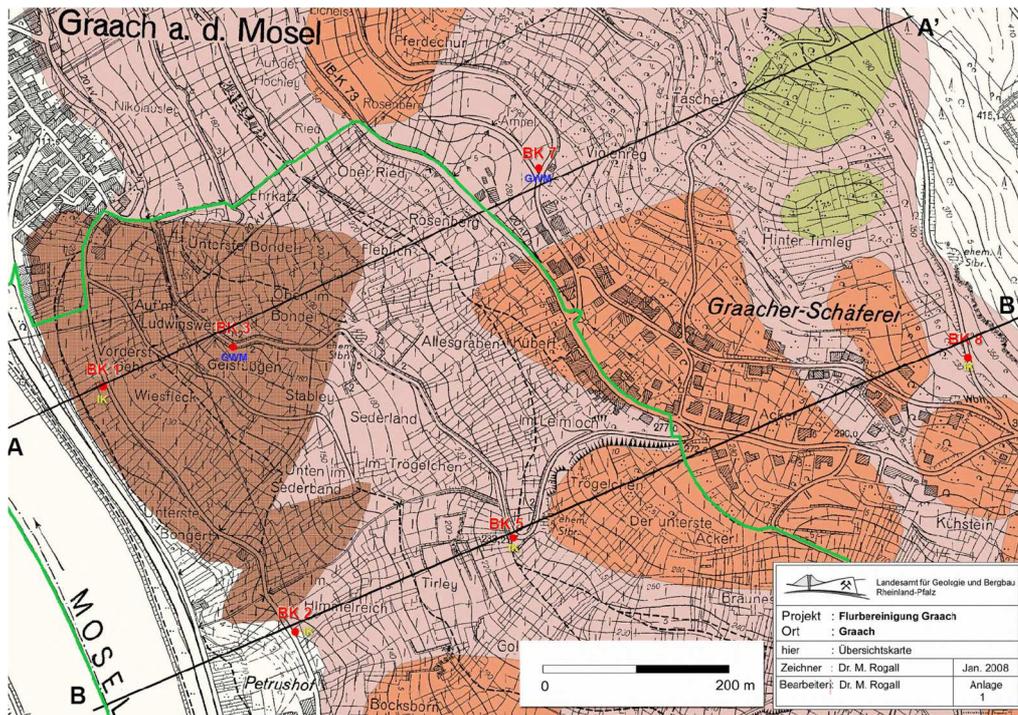


Abbildung 7: Übersicht geologische Untersuchungen (*Rogoll 2008)

Die Ergebnisse der Inklinometermessung bestätigen, dass sich der Hang nur sehr geringfügig bewegt, aber definitiv Kriechbewegungen vorhanden sind (wenige cm pro Jahr). Zudem wurden an 2 Inklinometern Grundwassermessungen durchgeführt, wobei an BK3 kein Wasserkontakt festgestellt wurde, da das Wasser im stark aufgelockerten Boden in große Tiefen abgesunken sein kann. Am BK7 wurde allerdings stätiger Kontakt festgestellt, da sich dort ein wasserhaltender Horizont befindet (*Rogoll 2008). Bei der Gesteinsart handelt es sich vorrangig um Tonschiefer und durch Lange Epochen der Verwitterung ist das Gestein teilweise sehr stark aufgelockert, weshalb das Gestein selbst eine geringe Stabilität bietet. Die Steilhänge haben eine hohe Reliefenergie durch das schnelle Einkerbten der Mosel in den Untergrund. Aufgrund dessen suchen die Hänge immer noch ihr Gleichgewicht (*Rogoll 2008). Rutschungen entstehen, wenn die treibenden Kräfte (Eigengewicht und zusätzliche Last) die rückhaltenden Kraft (Schwerfestigkeit und Kohäsion) überwiegen, was bei den Steilhängen teilweise der Fall ist. Zudem tragen die überdurchschnittlichen Niederschläge an der Mosel dazu bei, dass der Grundwasserspiegel ansteigt und somit die Auflast der Rutschfläche erhöht und zudem das Gestein auflockert. Zusätzlich verursachen Moselhochwasser, ausgelöst durch den hohen Niederschlag, eine Reduzierung der rückhaltenden Kraft, was die Erdbewegung begünstigt. Zu dem Faktor, dass die Steilhänge sich also immer noch stabilisieren wirkt der starke Niederschlag also auch noch treibend, was eine geringe Hangstabilität zur Folge hat. Aus den einzelnen Inklinometermessungen lassen sich 2

Geländeschnitte herstellen, die die geologische Situation im Untergrund genau darstellen.

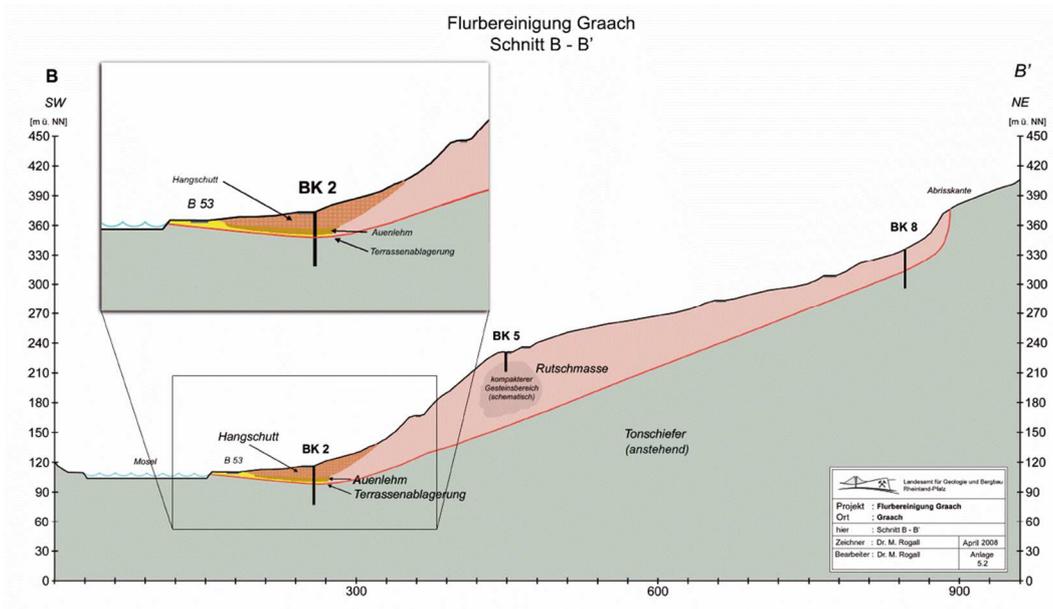


Abbildung 8: Schnitt B-B' (*Rogoll 2008)

Im Schnitt B-B' wird die untere Gleitzone bei einer Tiefe von etwa 75m vermutet wobei am BK 5 ein massiver Fels Teil festgestellt wurde. Am Fuße des Hangs hat die Rutschmasse eine Mächtigkeit von etwa 12m (*Rogoll 2008). Die Rutschmasse weist in diesem Schnitt also ein enormes Potenzial für zukünftige Rutschungen auf.

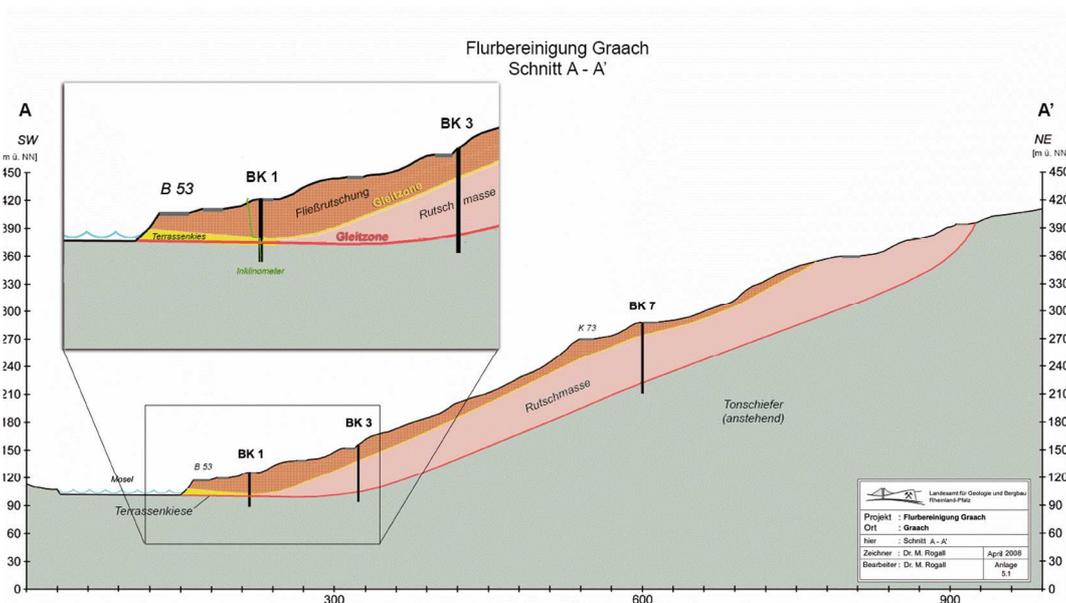


Abbildung 9: Schnitt A-A' (*Rogoll 2008)

Hier verläuft die untere Gleitzone bei etwa 40-50m Tiefe hangparallel, wobei einzelne Gleitflächen übereinander gelagert sein könnten. Im Bereich von BK1 und BK3 befindet

sich die Gleitzone in etwa auf der Höhe des Moselbetts und läuft dorthin flach aus mit Bildung eines Schuttkegels (*Rogoll 2008). In diesem Schnitt lässt sich deshalb ebenfalls ein hohes Potenzial für zukünftige Rutschbewegungen abschätzen.

4 Vermarkung und tachymetrische Bestimmung von Datumspunkten außerhalb der Rutschfläche

Da die Rutschzone den gesamten Steilhang der Gemarkung Graach mit einschließt, mussten die 4 Punkte zum Anschluss an deformationsfreies Gelände entlang der Bundesstraße am Fuße des Hanges gelegt werden. Die Position am Fuß des Hanges musste zudem so gewählt werden, da nur von dort aus eine ausreichende Sicht auf alle Kontrollpunkte gegeben ist. Dies hatte zur Folge, dass die Punkte im Bereich der Bundesstraße liegen, und somit die Vibrationen verursacht durch den Verkehr die Messungen beeinflussen.

4.1 Vermarkung der Datumspunkte entlang der B53

Die 4 Datumspunkte wurden entlang des Fahrradwegs an der B53 gelegt mit einem Abstand von etwa 80-120 m zwischen den Punkten und jeweils mit einem Bolzen im Asphalt markiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Kontrollpunkte von den Datumspunkten aus sichtbar sind und die Beobachtungen von dort aus ohne Probleme durchgeführt werden können. Zudem wurden die Punkte so vermarkt, dass bei einer Stationierung über dem Punkt der Radweg trotzdem noch befahrbar ist und keine Gefahr besteht, dass die Stationierung stark durch Passanten oder Fahrzeuge verfälscht wird und die Abweichungen dadurch sich auf ein Minimum beschränken.

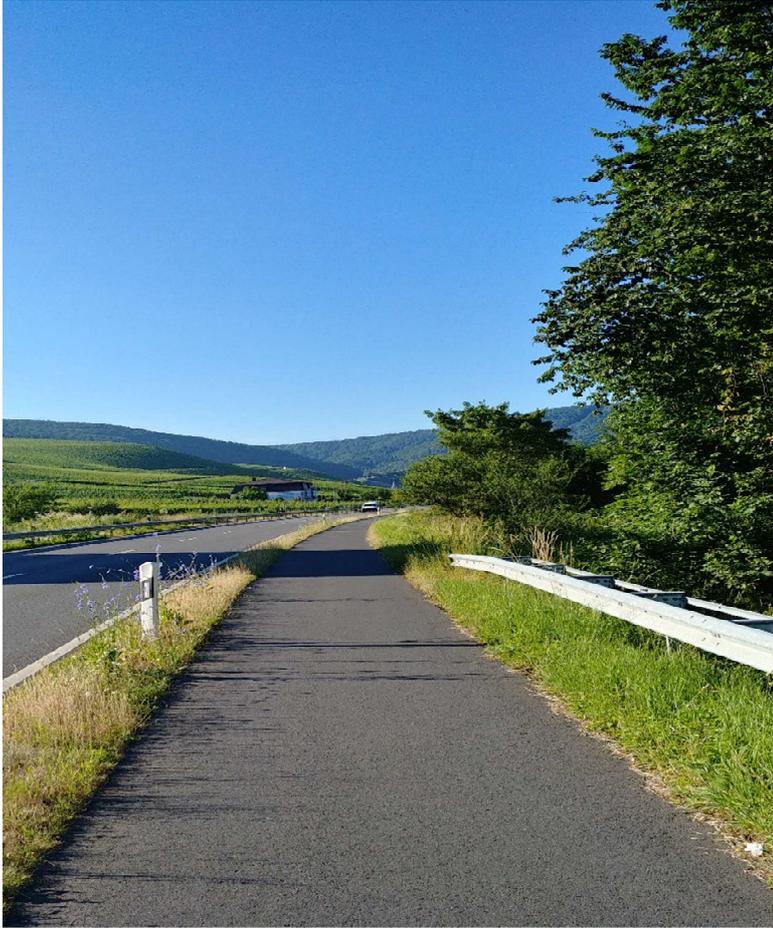


Abbildung 10: Radweg entlang der B53

4.2 Anschlusspunkte für die tachymetrische Neubestimmung

Der Anschluss an das Landessystem erfolgte über 2 Polygonpunkte entlang der Mosel, die in der GST2000 (Standardabweichung der Lage $\leq 0,02\text{m}$) vorliegen und somit den höchsten Genauigkeitsstandard der Katasterverwaltung haben. Zudem wurde ein Punkt aus der Befliegung des Flurbereinigungsgebiets vom DLR für den Anschluss verwendet, ebenfalls mit den höchsten Genauigkeitsanforderungen und zusätzlich 2 Grenzpunkte entlang der Straße vom Vermessungs- und Katasteramt mit der GST2100 (Standardabweichung der Lage $\leq 0,03\text{m}$). Zudem wurde ein Bolzen an einem Bauwerk entlang der Straße verwendet mit der GST 2100. Durch den Anschluss an 6 Punkte für die Freie Stationierung ist die Gewährleistung der Zuverlässigkeit gegeben. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse bei der Freien Stationierung ist ab der Anzahl der Anschlusspunkte $AP_i \geq 4$ gewährt. Es hätten mehr Polygonpunkte für den Anschluss zur Verfügung gestanden, allerdings sind diese durch ständige Moselhochwasser teilweise stark verschlammt und schwer auffindbar. Zudem sind die Sichten von der Straße aus zu den Polygonpunkten durch starke Vegetation eingeschränkt.



Abbildung 11: Polygonpunkt 3634

4.3 Aufnahme der Datumspunkte über die freie Standpunktwahl nach Lage und Höhe

Der Standpunkt für die freie Stationierung wurde auf der Straßenseite der B53 zum Steilhang des Flurbereinigungsgebiets hin gewählt, da nur von dort aus die beiden Polygonpunkte sichtbar sind. Der Standpunkt wurde im asphaltierten Bereich mit ausreichendem Abstand zur Straße gewählt, um Abweichungen durch den heftigen vorbeifahrenden Verkehr zu minimieren und so gut wie möglich zu eliminieren. Für den Anschluss an das Landessystem wurden die im vorherigen Kapitel beschriebenen Punkte verwendet und anschließend wurde eine 7-Parameter-Helmert-Transformation für die Bestimmung der Stationierung durchgeführt, mit den gegebenen Parametern der Anschlusspunkte, die dabei als Passpunkte dienen, um die Koordinaten zu transformieren. Anschließend wurden die 4 neuen Datumspunkte in 3 Halbsätzen angezielt und danach wurde eine Orientierung auf einen Anschlusspunkt durchgeführt, um eine Kontrolle für die Stationierung zu haben, dass es nicht zu einer gravierenden Verfälschung der Stationierung gekommen ist. Anschließend wurde die Stationierung

beendet. Danach wurde das Stativ geringfügig versetzt, und das Gerät neu horizontalisiert und die Stationierung neu über die Punkte berechnet. Die Datumspunkte wurden wieder in 3 Halbsätzen angezielt und durch den neuen Messaufbau konnten somit teilweise unabhängige Ergebnisse zur vorherigen Messung erzielt werden, um die Ergebnisse auf ihre Konsistenz zu prüfen. Die Koordinaten der Datumspunkte wurden jeweils über das Verfahren des polaren Anhänges bestimmt mit den Beobachtungsstücken Strecke und Horizontalwinkel für die Lage und dem Vertikalwinkel für die Höhe. Durch den Richtungsanschluss an einen bekannten Punkt wird die Orientierungsunbekannte aufgelöst, wodurch Richtungswinkel aus dem Horizontalwinkel abgeleitet werden können. Im Optimalfall hätten für den neuen Messaufbau andere Anschlusspunkte zur Verfügung gestanden, aber in diesem Gebiet war eine sehr geringe Punktdichte vorhanden mit ausreichender Genauigkeit, weshalb die gleichen Punkte für die zweite Stationierung verwendet wurden. Die Ergebnisse der einzelnen Satzmessungen wurden daraufhin ausgeglichen und die endgültigen Koordinaten berechnet. Die Datumspunkte wurden mit einer Standardabweichung von 3-4 mm in der Lage und 6-8 mm in der Höhe bestimmt und bilden somit eine ausreichend genaue Basis für die Netzmessungen. Für die Messungen wurde ein Leica TS06 Tachymeter mit einer elektrooptischen Streckenmessgenauigkeit von $1,5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ verwendet und ein Leica GPR1 Rundprisma mit einer Zentriergenauigkeit von 1,0 mm.



Abbildung 12: Messaufbau zur Bestimmung der Datumspunkte (QGIS und Google WMS-Daten)

Rot = Standpunkt

Gelb = Datumspunkte

Blau = Anschlusspunkte

5 Erstellen der Netzpläne unter Einschluss aller verbleibenden Kontrollpunkte und der Datumspunkte

Um bei den Netzmessungen eine wirtschaftliche Anzahl an Beobachtungen zu erreichen und trotzdem die benötigte Genauigkeit zu gewährleisten, wurden vorher Netzpläne erstellt. Dadurch können mithilfe von simulierten Beobachtungen und Näherungskoordinaten schon vor der Messung Aussagen zur Genauigkeit getroffen werden und die Messung lässt sich besser planen. Zudem erhält man eine feste Beobachtungsliste, welche im Außendienst die Arbeit erheblich erleichtert und zum Teil groben Fehlern vorbeugen kann wie einer Punktverwechslung. Im Zuge der Bachelorarbeit sollte mithilfe der Netzplanungssoftware Netz2D ein Netzplan für das Gesamtnetz und ein Netzplan für das Rahmennetz erstellt werden.

5.1 Übersicht über das Gebiet der Netzmessung und die Kontrollpunkte

Das Messgebiet kann in 3 Teile zerlegt werden und umfasst fast die gesamte Gemarkung Graach-Himmelreich. Die Kontrollpunkte 27-42 bilden einen Teil des Messgebiets im oberen Teil des Steilhangs an einer Stützmauer. Die Punkte sind dabei gleichmäßig abwechselnd auf der Stützmauer mit Meisel Zeichen oder am Wegrand zur Mosel hin mit Bolzen vermarktet. Im zentralen Bereich des Flurbereinigungsgebietes befindet sich ein weiterer Teil des Messgebiets mit den Kontrollpunkten 6-26. Ausgenommen sind die Punktnummern 14 und 22, die während Planierungsarbeiten oder Sanierungsmaßnahmen zerstört wurden. Die Kontrollpunkte befinden sich an der unteren Mauer mit Meisel Zeichen vermarktet oder inmitten des Steilhangs mit Bolzen vermarktet beziehungsweise am Rand des Weges oberhalb. Den letzten Teil des Messgebiets bildet die scharfe Wendekurve im Süden des Verfahrensgebietes mit den Kontrollpunkten 5,11 und 43-45. Der Kontrollpunkt 12 wurde ebenfalls kurz vor Messbeginn durch Planierungsarbeiten zerstört und konnte deshalb nicht in die Netzmessung mit einbezogen werden. Als Standpunkte für die Messung des Gesamtnetzes wurden die Punkte am Rande jedes Messgebiets verwendet, um eine Beobachtung aus allen Richtungen zu ermöglichen und eine optimale Geometrie zu formen.

(siehe Übersichtskarte Anhang A)

5.2 Netzplansoftware Netz2D

Mit der Netzplanungssoftware Netz2D lassen sich 2D-Ausgleichungsmodelle für Netzmessungen erstellen und Ausgleichungen mit Messdaten im ASCII-Format durchführen. Zudem lassen sich DXF-Dateien erstellen, womit eine visuelle Darstellung des Messaufbaus mit prognostizierten Konfidenzellipsen zu jedem Punkt erzeugt wird. Hierbei werden relative und absolute Konfidenzellipsen erzeugt für Neupunkte und Datumspunkte. Für die Netzplanung müssen zuerst Näherungskordinaten für Neupunkte und Datumspunkte manuell eingegeben werden oder als ASCII-Datei eingelesen werden. Danach können einzelne Richtungssätze mit jeweils definierten Genauigkeiten von einzelnen Standpunkten zu Zielpunkten eingegeben werden. Zudem werden Streckenbeobachtungen mit einer einheitlichen Genauigkeit von wählbaren Standpunkten zu Zielpunkten eingegeben. Anschließend können noch Parameter für die Planung, wie Varianzfaktor a priori oder Irrtumswahrscheinlichkeit festgesetzt werden. Falls alle Eingaben korrekt sind, und das Skript der Berechnung läuft, erstellt das Programm eine .out-Datei, die sich automatisch öffnet, die die Ergebnisse der Berechnung enthält. Dabei werden für jeden Punkt die Standardabweichung und der mittlere Punktfehler nach Helmert angegeben, sowie die Ausdehnung der Halbachsen der Konfidenzellipse. Falls die Berechnung einen Fehler enthält, wie zb. Eine falsche Punktnummer stürzt das Programm allerdings ab, weshalb das Speichern vor der Netzberechnung essentiell ist. Der Fehler, der den Programmabsturz verursacht hat, wird in der .out-Datei, die dann allerdings keine Ausgleichungsergebnisse enthält, in der letzten Zeile angegeben und muss dann manuell behoben werden. Wenn die Netzberechnung erfolgreich war, kann ein Netzplot in Form einer DXF-Datei erzeugt werden. Dieser Netzplot kann dann mithilfe eines DXF-Viewers zb. TrueView geöffnet werden, wodurch man eine grafische Darstellung erhält, mit der man die Richtungen der Beobachtungen optimieren kann, da die Konfidenzellipsen dargestellt werden. Nach den Messungen können die Rohdaten importiert werden und das Programm führt eine zweidimensionale Ausgleichung der Messergebnisse durch.

5.3 Optimierung der Beobachtungen des Gesamtnetzes mit der Netzplanungssoftware

Für das Gesamtnetz wurden alle verbleibenden Kontrollpunkte und die 4 neuen Anschlusspunkte verwendet. Die Kontrollpunkte wurden dabei als Neupunkte in die Software eingelesen und die Anschlusspunkte als Datumspunkte, da diese zur

Eliminierung des Datumsdefekts verwendet werden und eine feste Lage in der Berechnung behalten sollen. Als Standpunkte wurden die äußersten Punkte des Gebiets verwendet und ein paar zentrale Punkte, um die Kontrollpunkte aus möglichst diversen Richtungen zu beobachten, sowie die 4 Datumspunkte am Fuß des Steilhangs. Zuerst wurde jeder Kontrollpunkt von mindestens 3 Datumspunkten und 3 Standpunkten im Gebiet beobachtet und daraufhin wurde eine Netzreduktion durchgeführt, da die Genauigkeit höher war als die geforderte Genauigkeit und somit der Arbeitsaufwand verringert werden konnte. Es wurden also immer mehr Beobachtungen gestrichen, bis die Genauigkeit die Vorgaben erreicht hatte und der Arbeitsaufwand angepasst war. Zudem wurden die Beobachtungen so angepasst, dass die Punkte nicht nur aus einer Richtung beobachtet werden, da sonst die Winkel zwischen den Richtungen zu spitz werden, was dazu führt, dass sich die prognostizierten Konfidenzellipsen in eine Richtung sehr stark ausdehnen und die Qualität der Ergebnisse negativ beeinträchtigt wird. Das drückt sich dadurch aus, dass entweder der Rechts- oder Hochwert in der jeweiligen Standardabweichung signifikant schlechter wird.

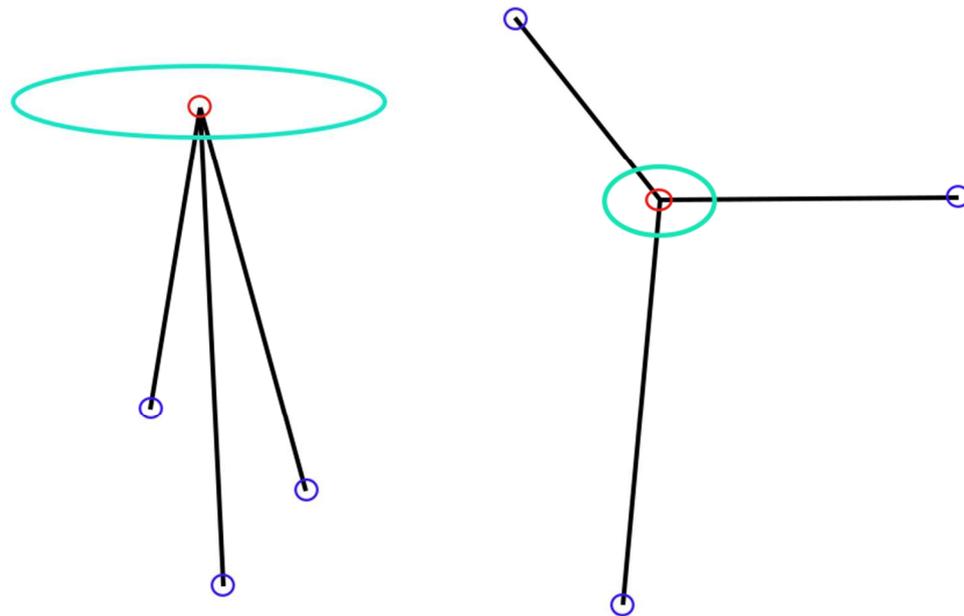


Abbildung 13: Guter Messaufbau (rechts) und schlechter Messaufbau (links)

Im Optimalfall soll ein Punkt also von möglichst vielen Richtungen aus beobachtet werden, um die Konfidenzellipse kreisförmig zu halten, da die Standardabweichung im

Rechtswert oder im Hochwert steigt, je nachdem von wo aus beobachtet wird, wenn viele Beobachtungen nur aus einer Richtung kommen. Bei der Optimierung wurde schlussendlich nach der Netzberechnung ein mittlerer Punktfehler von 4-9 mm prognostiziert.

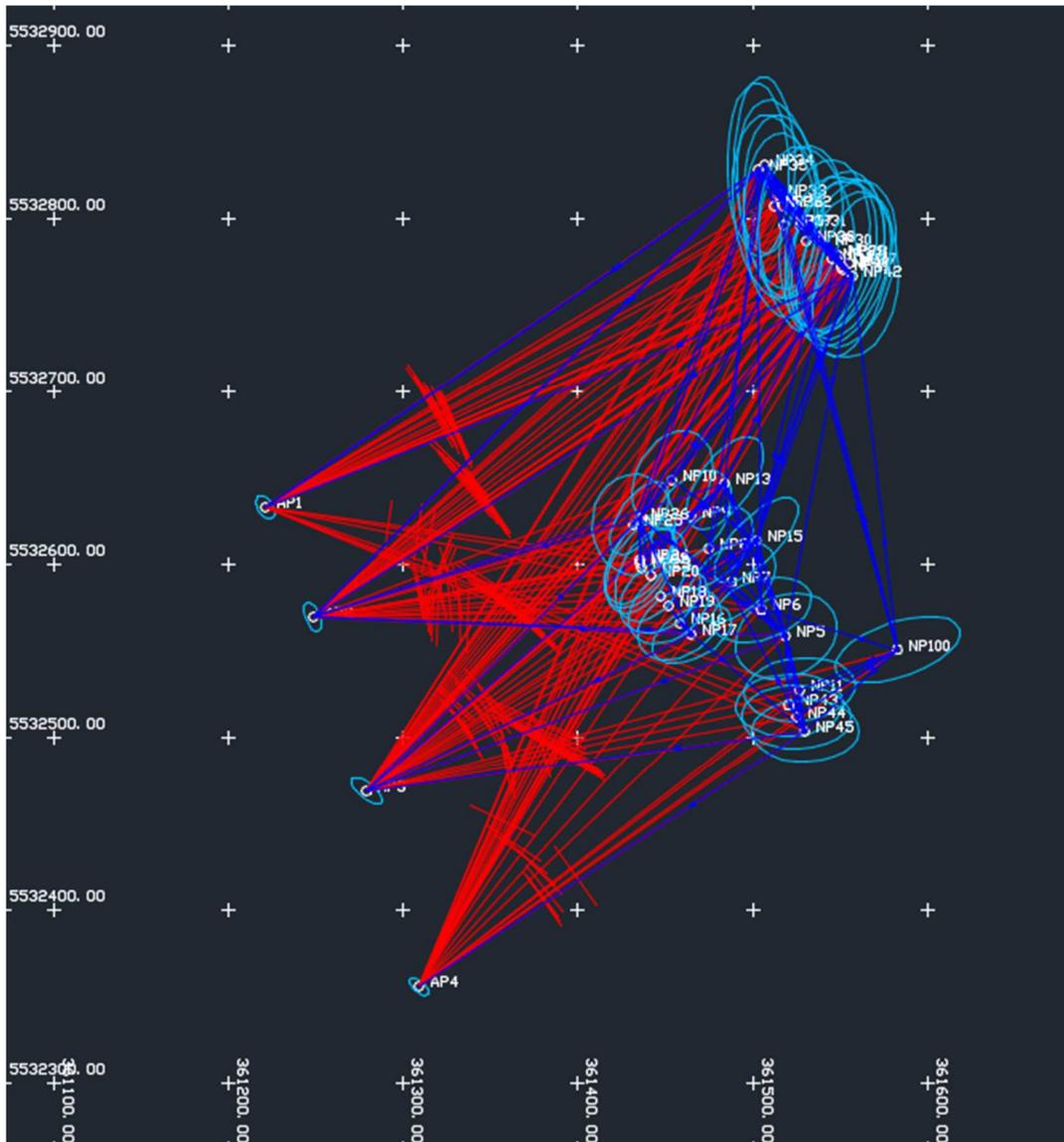


Abbildung 14: Netzplan für das Gesamtnetz

5.4 Optimierung der Beobachtungen des Rahmennetzes mit der Netzplanungssoftware

Für das Rahmennetz wurden nur die Kontrollpunkte verwendet, die als Standpunkte für das Gesamtnetz gedient haben, damit die aufgenommenen Punkte das gesamte Messgebiet umschließen und alle anderen Punkte mit einschließen. Dadurch werden die

Ergebnisse der späteren Transformation optimiert, da diese Punkte dort als Passpunkte dienen. Da diese Netzmessung viel weniger Kontrollpunkte und Standpunkte benötigt, wurde hierbei jeder Punkt zuerst mit 2 Anschlusspunkten beobachtet und 2 anderen Standpunkten und anschließend wurden weitere Beobachtungen hinzugefügt, um eine ausreichende Genauigkeit zu erreichen. Es wurde als das Netz berechnet und wenn die benötigte Genauigkeit nicht erreicht war, wurde zusätzliche Beobachtungen eingefügt um die Redundanz zu verbessern. Die Zielpunkte wurden bei der Berechnung als Neupunkte angegeben und die Anschlusspunkte, sowie die Punkte 20 und 43, als Datumspunkte, da diese nicht mit ausgeglichen werden sollten, sich aber als Standpunkte sehr gut angeboten haben. Bei der Optimierung wurde schlussendlich nach der Netzberechnung ein mittlerer Punktfehler von 3-7 mm prognostiziert.

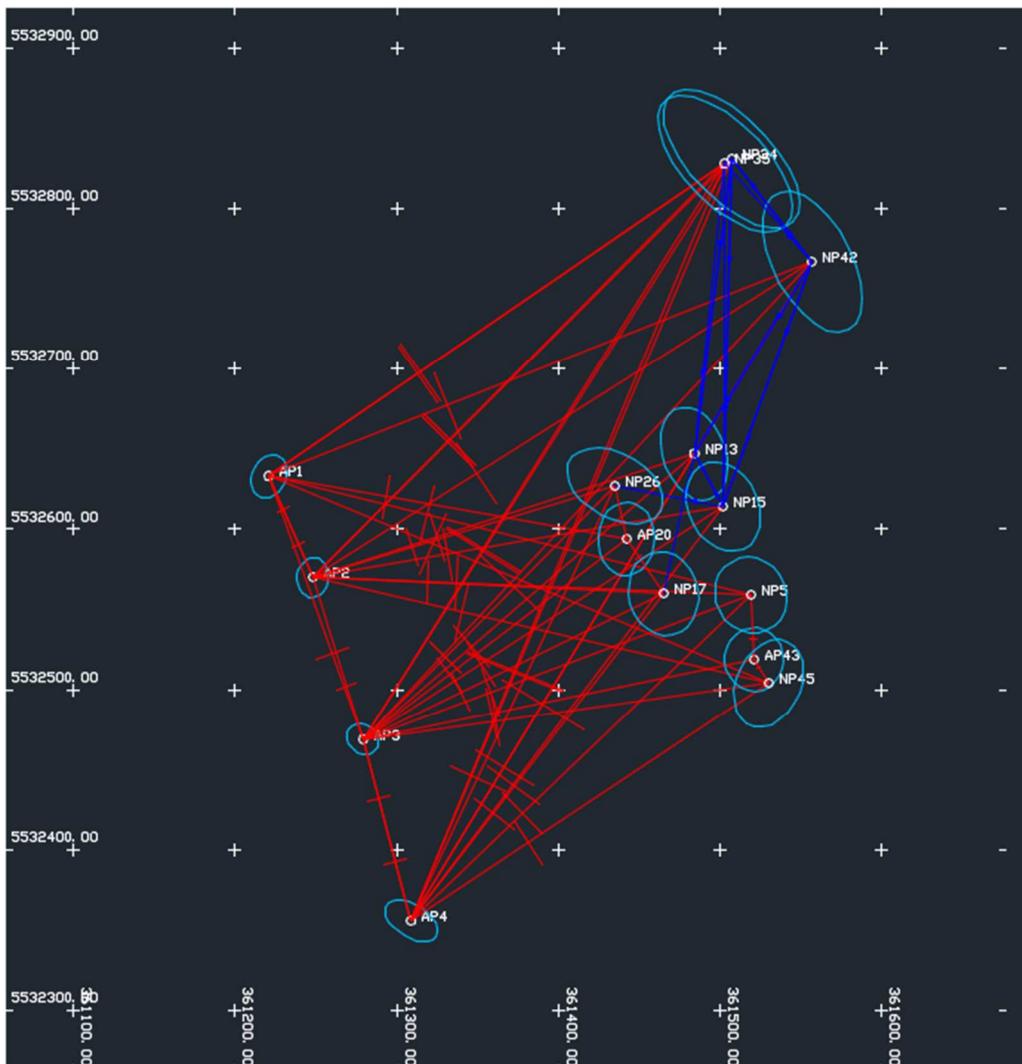


Abbildung 15: Netzplan für das Rahmennetz

6 Netzmessungen und Ausgleichung der Beobachtungen

Die Kernaufgaben der Bachelorarbeit waren die Netzmessungen des Gesamtnetzes und des Rahmennetzes. Das Gesamtnetz wurde zuerst Mitte Mai aufgemessen und das Rahmennetz kurz darauf mit einem geringen Zeitabstand. Das Gesamtnetz beinhaltet dabei alle übrig gebliebenen Kontrollpunkte und das Rahmennetz nur die Punkte, die für das Gesamtnetz als Standpunkte verwendet wurden. Für die Netzmessungen wurde ein Leica TS06 Tachymeter verwendet und GDPR1 Rundprismen von Leica.

6.1 Vorgehen bei den Netzmessungen

Vor dem Beginn der Netzmessung des Gesamtnetzes, wurden alle Kontrollpunkte und die Datumpunkte per Daten Import als ASCII-Datei in einen Messjob im Gerät eingelesen. Anschließend wurden zuerst die Beobachtungen von den Datumpunkten aus zu den Kontrollpunkten durchgeführt, wobei das Tachymeter über dem vorher vermarkten Datumpunkt aufgebaut wurde. Das Tachymeter wurde polar über diesem Punkt stationiert und zwei benachbarte Datumpunkte wurden für den Richtungsanschluss verwendet, um die Orientierungsunbekannte zu beseitigen. Zuerst wurde über das Absteckungsprogramm vor jeder Erstmessung geprüft, ob der richtige Punkt aufgehalten wird und die Punktnummer wurde mit Kreide anschließend an den Punkt geschrieben, um so den groben Fehler der Punktverwechslung zu eliminieren. Dann wurden die Beobachtungen von diesem Punkt durchgeführt, die im Netzplanungsprogramm bestimmt wurden und als Beobachtungsliste mitgeführt wurden. Abschließend wurde auf jedem Anschlusspunkt nach der Messung eine Orientierung durchgeführt, um die Stationierung auf mögliche Verschiebungen zu prüfen. Anschließend wurden die Beobachtungen von den Standpunkten im Steilhang durchgeführt, wobei das Tachymeter ebenfalls über den Punkten aufgebaut wurde, allerdings nur um eine zusätzliche Kontrolle zu haben und es wurde die freie Stationierung für die Standpunktbestimmung verwendet. Hierbei wurden immer alle Datumpunkte für den koordinatenmäßigen Anschluss verwendet und verschiedene Kontrollpunkte, wenn sie gut in die Stationierung passten. Dadurch war der Anschluss in deformationsfreiem Gelände gesichert und das Messgebiet konnte trotzdem größtenteils von den Anschlusspunkten umschlossen sein, wodurch Nachbarschaftsprobleme vermieden werden konnten. Zudem war mit der Anzahl der Anschlusspunkte ≥ 4 immer eine ausreichende Redundanz gegeben.

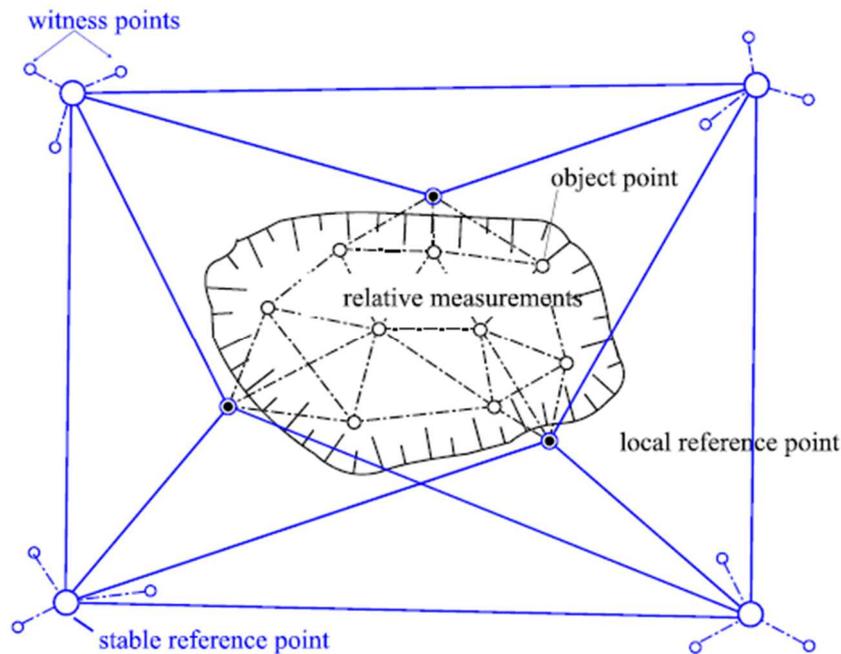


Abbildung 16: Optimaler Messaufbau einer Netzmessung (*Neitzel)

Es wurden alle Beobachtungen von den Standpunkten im Steilhang durchgeführt und ebenfalls immer zum Abschluss eine Orientierung zu einem Anschlusspunkt geprüft. Da die Strecken zwischen den Standpunkten oft sehr steil und lang waren, musste nach jedem Standpunkt die Ausrüstung in den Messbus geladen werden und der nächste Punkt musste angefahren werden. Zudem waren die Strecken für den Messgehilfen oft sehr weit und steil, was die Messung stark und die Länge zog. Zudem ist die ATR-Funktion sehr hilfreich bei solchen Arbeiten, da somit viel manuelle Zielarbeit vermieden werden kann. Für die Netzmessungen des Rahmennetzes wurde genauso verfahren, wie bei der Messung des Gesamtnetzes, mit dem Unterschied, dass insgesamt weniger Punkte angemessen wurden und weniger Gerätestandpunkte verwendet wurden und somit weniger Arbeitsaufwand entstand. Für die Messung des Gesamtnetzes wurden fast 4 Tage benötigt und für die Messung des Rahmennetzes nur 1 Tag.

6.2 Ausgleichung der Messergebnisse

Die Messdaten der Netzmessung des Rahmennetzes wurden im GSI-Format ausgelesen und in die Software Leica Geo Office (Version 8.4) importiert. Dort wurden die jeweiligen Punkte als Kontroll- bzw. Referenzpunkte angegeben und die beobachteten Punkte als Messungen. Das Koordinatenreferenzsystem musste zuvor noch definiert werden, da ETRS89/UTM nicht in den Voreinstellungen vorhanden war. Anschließend konnte die 3D-Ausgleichung der Netzmessung im Leica Geo Office

durchgeführt werden, mit den gewählten Parametern für die Ausgleichung. Die terrestrischen Parameter wurden dabei bei den Standardeinstellungen belassen und die Testkriterien wurden wie folgt gewählt:

- α in % = 5 \rightarrow Irrtumswahrscheinlichkeit
- σ a priori Streckengenauigkeit = 1,5 mm + 2ppm \rightarrow Varianzfaktor
- σ a priori Richtungengenauigkeit = 0.6 mgon \rightarrow Varianzfaktor
- $1-\beta$ in % = 80 \rightarrow Güte des Tests

Mit der Software wird eine strenge Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt, um die gesuchten Parameter, hier die Punktkoordinaten und die Höhe, möglichst genau zu bestimmen. Durch die Überbestimmung der Parameter können zufällige Messabweichungen verringert werden, was zu einer Genauigkeitssteigerung führt und es können Aussagen zur Qualität der Messung in Form von Standardabweichungen getroffen werden. Zudem können somit grobe Fehler erkannt werden und aus der Berechnung der Koordinaten gestrichen werden(*Lehmann/Scheffler). Die groben Fehler werden erkannt, durch eine starke Abweichung vom gemittelten Wert aller passenden Beobachtungen. Systematische und zufällige Abweichungen werden durch das Abringen von Verbesserungen an den Beobachtungsvektor aufgehoben, wodurch der wahre Wert so präzise wie möglich erzielt werden soll. Durch die Ausgleichung wurden Standardabweichungen in der Lage von 3-6mm erzielt und Standardabweichungen in der Höhe von 0,6-11 mm erzielt.

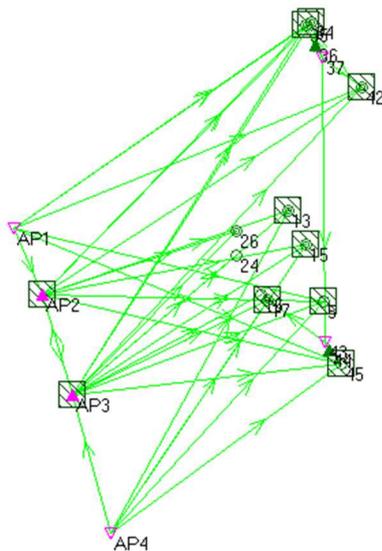


Abbildung 17: Netzausgleichung des Rahmennetzes

6.3 Transformation auf das Rahmennetz

Die Transformation des Gesamtnetzes auf das Rahmennetz wird ebenfalls mit der Software Leica Geo Office durchgeführt. Um aus relativen Messungen Koordinaten bestimmen zu können, muss es eine Anbindung an des Netzes an den Referenzrahmen geben. Das wird durch Zuweisung von ausgeglichenen Passpunkten realisiert, die sich mit den Punkten des Gesamtnetzes überschneiden. Dabei wird die Varianz dieser Punkte als „null“ angenommen und sie gelten als fehlerfrei. Die Koordinaten werden also nicht als Unbekannte eingeführt und durch diese Festlegung entsteht kein Zwang auf die innere Geometrie, weshalb man von einer freien Netzausgleichung spricht (*Neitzel 2004). Die Passpunkte aus der Rahmennetzmessung wurden für eine klassische 3D-Transformation verwendet und stellen die die Parameter dafür bereit (3 Verschiebungen, 1 Maßstab und 3 Drehungen), da diese sowohl in der Gesamtnetzmessung, also auch in der Rahmennetzmessung vorhanden sind. Hierfür wurden im Leica Geo Office 2 Projekte angelegt, eines mit den 13 Passpunkten für die Transformation im ausgeglichenen Format und eines mit den zu transformierenden Punkten aus der Gesamtnetzmessung in gemittelter geozentrischer Form. In den Projekten wurde jeweils das passende KRS gewählt und anschließend wurden die identischen Punkte jeweils unter der Transformationsfunktion richtig einander zugeordnet. Teilweise wurde dies von Leica Geo Office automatisch durchgeführt anhand von übereinstimmenden Punktnummern. Dann wurde die Transformation der Punkte des Gesamtnetzes mit den berechneten Parametern der identischen Punkte durchgeführt. Dadurch erhält man die finalen Koordinaten für die Kontrollpunkte in angepasster Form mit einer korrelierenden Genauigkeit. Die Redundanz der Transformation ist durch die 13 Passpunkte zudem sehr gut und durch die Anordnung der Passpunkte um die zu transformierenden Punkte ergibt sich eine gute Abdeckung, weshalb jeder Punkt sicher transformiert werden kann.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^B = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix} + \mu \cdot \begin{bmatrix} 1 & r_z & -r_y \\ -r_z & 1 & r_x \\ r_y & -r_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^A$$

Abbildung 18: Matrizengleichung der 3D-Helmert-Transformation

6.4 Endgültige Ergebnisse der Netzmessungen

Die endgültigen ausgeglichenen und transformierten Ergebnisse für die Koordinaten der Kontrollpunkte zeigen, dass die Messungen ihre Vorgaben erfüllt haben und die prognostizierten Genauigkeiten eingehalten wurden. Für alle Punkte wurden eine Lagegenauigkeit von 3-6mm erreicht und eine Höhengenaugigkeit von 6-11mm. Dabei sind die Kontrollpunkte im zentralen Bereich des Gebietes am genauesten bestimmt worden, durch die gute Geometrie der Standpunkte und der Beobachtungen. Die Kontrollpunkte an der nördlichen Mauer wurden am ungenauesten bestimmt, durch die größeren Zielweiten und die schlechtere Geometrie, weil der obere Bereich schlecht aus vielen Richtungen beobachtet werden kann.

26	32361435,0586	5532627,5146	138,8692		9	32361465,3815	5532628,1200	153,6168
25	32361432,4917	5532623,2348	137,9408		10	32361454,6289	5532649,0740	150,4601
24	32361435,8933	5532603,8911	138,5151		15	32361502,6540	5532614,1179	172,5018
20	32361442,2303	5532594,3629	140,6278		13	32361484,9080	5532647,4590	167,9250
21	32361435,8418	5532601,4049	138,5724		42	32361557,1131	5532767,7771	215,2952
23	32361436,5840	5532598,6545	138,1080		41	32361552,2669	5532771,6279	214,0582
19	32361452,5514	5532576,5613	141,3373		40	32361551,3532	5532772,3100	213,8215
18	32361447,3479	5532582,5903	140,5771		39	32361545,1219	5532777,0090	212,4690
16	32361458,5111	5532566,0137	140,2241		38	32361531,2167	5532787,3690	209,9537
17	32361465,3474	5532560,8290	140,4566		37	32361518,9567	5532796,9256	208,6437
5	32361519,5750	5532559,3651	171,4179		36	32361512,2025	5532807,7755	207,5756
6	32361505,8952	5532574,2712	165,7590		35	32361503,2370	5532828,2442	204,5465
7	32361488,9147	5532590,6405	161,4374		34	32361507,4568	5532831,2470	206,8037
8	32361475,4101	5532609,2199	157,6006		33	32361514,2910	5532814,7928	208,9802
29	32361548,2934	5532779,9156	213,2166		32	32361519,1684	5532807,2217	210,0224
30	32361541,7835	5532785,6000	212,2698		31	32361527,2720	5532796,3459	211,2041
45	32361530,5516	5532504,5071	168,4265		27	32361555,8144	5532774,6626	214,2285
44	32361525,4725	5532512,0439	167,8142		28	32361549,0670	5532779,4160	213,3620
43	32361521,4299	5532519,8425	167,0601		11	32361527,2345	5532528,4236	172,7994

Abbildung 19: Endgültige Koordinaten der terrestrischen Netzmessung

7 Gegenüberstellung der bisherigen Messergebnisse durch GNSS-Messung und der tachymetrischen Messung

In diesem Teil der Arbeit soll dargestellt werden, inwiefern die bisherigen GNSS-Beobachtungen mit den terrestrischen Messungen übereinstimmen und ob es auffällige Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen gibt, wodurch man teilweise auf die Wirtschaftlichkeit und den Sinn dieser Messung schließen kann. Zudem sollen aus den Messergebnissen die Deformationen zur vorangegangenen Messung und zur Nullmessung bestimmt werden.

7.1 Tabellarische Gegenüberstellung

Zum Vergleich wurden die aktuellen Tabellen des DLR Mosel verwendet mit den ausgewerteten GNSS-Beobachtungen. Zuerst wurden die terrestrischen Messwerte mit der aktuellen GNSS-Messung verglichen und anschließend mit der Nullmessung. Grundlage waren die Messwerte vom 25.04.2019 und vom 08.05.2019(11,43-45). Dabei wurden Abweichungen im Rechts- und Hochwert bestimmt, sowie Abweichungen in der Höhe, aus den Differenzen der Messwerte. Zusätzlich wurde die Längenabweichung resultierend aus den Koordinaten bestimmt, da diese die Grundlage für die Rutschvektoren bildet.

$$\Delta l = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Im Vergleich zur aktuellen GNSS-Beobachtungen gibt es Abweichungen im Rechtswert und Hochwert von 0-5 cm, was an der Genauigkeit der SAPOS-HEPS Messung von ca. 1,5 cm in der Lage und 2,5 cm in der Höhe und der terrestrischen Genauigkeit von etwa 5mm in der Lage und 9mm in der Höhe liegt. Zudem kommt der zeitliche Abstand der GNSS-Messung und der terrestrischen Messung von etwa 3 Wochen hinzu, in denen es zu Deformationen im cm-Bereich kommen kann. Die Abweichungen in der Höhe liegen bei 0-6cm, wobei die Abweichungen konstant höher sind und die meisten Punkte eine Abweichung von mindestens 2 cm aufweisen, was auf die höhere Standardabweichung zurückzuführen ist. Daher sind die Abweichungen im vorliegenden Bereich durchaus plausibel. Somit kann gesagt werden, dass mit SAPOS-HEPS und einer terrestrischen Netzmessung ähnliche Ergebnisse erzielt wurden, die sich im geringen cm-Bereich befinden und ohne den zeitlichen Abstand wären die Ergebnisse noch ähnlicher gewesen, was die Sinnhaftigkeit einer GNSS-Messung

unterstützt, da die Ergebnisse in Relation zu einer Netzmessung gut passen. Anhand der korrelierenden Ergebnisse im Vergleich zur GNSS-Messung, überschneiden sich die Ergebnisse zur Nullmessung mit den Differenzen von GNSS-Messung und Nullmessung, sodass sich Deformationen zur Nullmessung im selben Rahmen ergeben. Punkte weisen also beim Vergleich von GNSS zu Nullmessung und beim Vergleich der Netzmessung zu Nullmessung passenden Unterschiede auf (z.B. Punkt 45 und Punkt 11 starke Abweichungen in Lage und Höhe in negativer Richtung also zum Moselufer hin). Zum Kontrollpunkt 32 konnten keine Aussagen getroffen werden, da dieser in der letzten Kontrollmessung vom DLR nicht mit erfasst wurde und somit nur die Daten aus der terrestrischen Messung für den Punkt vorliegen und keine Deformationen oder Veränderungen zur zeitnahen Vormessung berechnet werden können. Ergebnisse im zur Nullmessung konnten berechnet werden aber decken sich mit den Ergebnissen aus der GNSS-Messung und wurden deshalb absichtlich entfallen gelassen um die Übersichtlichkeit zu steigern.

Punkt	Veränderung zur GNSS-Messung 25.04.2019				Veränderung zur Nullmessung			
	d Rechtswert [mm]	d Hochwert [mm]	d Höhe [mm]	d Länge [mm]	d Rechtswert [mm]	d Hochwert [mm]	d Höhe [mm]	d Länge [mm]
27	-24	16	-11	28	-23	-3	-7	23
28	10	13	47	16	12	-11	62	16
29	-4	3	-6	4	-18	-31	7	36
30	-7	-39	-11	40	16	41	-36	44
31	5	14	13	15	6	2	0	6
32								
33	11	-5	-35	12	10	16	-41	19
34	13	11	19	17	21	19	-7	28
35	-10	-13	-5	16	7	-3	2	8
36	-9	-9	17	13	1	2	-17	3
37	-12	-47	41	49	-40	-46	76	61
38	-3	-9	30	10	-3	-21	59	21
39	-17	-20	12	26	-13	-20	-19	24
40	-14	7	21	15	-25	8	5	26
41	-9	-21	34	23	-7	-13	47	15
42	-40	4	-11	40	-48	-11	-7	49
43	19	-12	36	22	-11	-9	30	14
44	5	-17	5	18	-274	-172	-53	323
45	-6	-1	1	7	-160	-111	-89	195
11	13	4	-37	14	-23	8	-29	24
5	0	-4	-1	4	-7	-8	-20	11
6	50	-18	-34	53	54	-28	-50	61
7	55	-1	33	55	-2	-34	-52	35
8	38	9	-2	39	-43	21	-65	48
9	50	19	-3	54	6	16	-89	17
10	8	9	-6	12	-8	-6	-1	10
13	-5	8	-30	9	-27	-4	-12	27
15	35	6	20	36	27	-57	36	63
16	47	3	28	47	45	-16	40	48
17	19	-18	24	26	41	-17	8	45
18	3	-4	31	5	-1	-25	77	25
19	-4	1	3	4	-42	-18	3	45
20	19	23	26	30	19	-13	62	23
21	13	26	22	29	-3	15	55	15
23	-15	-4	44	15	-50	-43	95	66
24	20	33	22	39	19	2	53	19
25	33	24	31	40	30	-2	40	30
26	14	16	24	21	16	32	55	35

Abbildung 20: Vergleich GNSS-Messung und terrestrische Messung

7.2 Ableiten der Deformationen der Kontrollpunkte

Durch die Standardabweichungen beider Messverfahren ergibt sich für die Lagegenauigkeit eine gesamte Varianz von 2cm für die Ergebnisse aus dem Vergleich, womit die Deformationen sich in diesem Bereich befinden. Die Abweichungen ergeben also ± 2 cm die Deformationen für die Mauern in der Lage. Die gesamte Varianz für die Höhe entspricht etwa 3,4 cm, womit sich die Deformationen im Bereich von $\pm 3,4$ cm von den Abweichungen des Vergleichs befinden.

$$E = (X + Y) = E(X) + E(Y)$$

Dadurch ergeben sich in der Lage Deformationen von 0-7 cm und in der Höhe Deformationen von 0-8 cm. Aufgrund der addierten relativ hohen Standardabweichung lässt sich also nur bedingt auf die geringen Deformationen schließen, weshalb ein präzises Überwachungsnetz erforderlich ist, welches die Standardabweichungen so gering wie möglich hält. Trotzdem lässt sich sagen, dass es im Vergleich zur Vormessung und auch zur Nullmessung Rutschungen gegeben hat und die Rutschmasse sich in Bewegung befindet, wobei man nur schwer auf eine genaue Richtung schließen kann.

Aufgrund des starken Maschineneinsatzes im oberen Bereich des Hangs und durch das Befahren von Weinlagen mit Erntemaschinen sind die Deformationen im cm-Bereich erklärbar in Verbindung mit dem allgemeinen Rutschen des Hangs. Zudem waren sehr viele Personen in der Weinlage zu Fuß unterwegs, was zusätzlich ein Faktor für die Verschiebung führen kann. Durch die Dürrephase zu dieser Zeit wurden die Steillagen zudem intensiv bewässert, wodurch der Boden verstärkt an einzelnen Stellen aufgeweicht wurde, was die Rutschungen gefördert haben könnte.

7.3 Bewertung der Maßnahmen gegen die Rutschungen

Allgemein lässt sich sagen, dass die Maßnahmen gegen die Rutschungen bereits durchaus erfolgreich waren. Dies ist dadurch zu belegen, dass sich die aktuellen Bewegungen der Rutschmassen an den Kontrollpunkten auf einen Mittelwert von etwa 1 cm beschränken und somit unter der Standardabweichung liegen. Somit könnten der wahre Wert der Deformationen nahezu 0 sein und die Deformationen an den Bauwerken wären gestoppt. Durch die Sicherungsmaßnahmen konnten die vorherigen Kriechbewegungen im Bereich von 3-5 cm/Jahr verringert werden, die durch die Inklinometermessung festgestellt wurden. Allerdings ist die komplette Deformationsfreiheit in diesem Gebiet nicht realisierbar, da immer etwas Bewegung im

Hang sein wird, gegeben durch die geophysikalischen Umstände. Solange durch die Drainagerohre das Wasservorkommen im Hang sicher abgeleitet wird, sollte der Hang relativ stabil sein, da die dadurch resultierenden Aufweichung und erhöhte Druckmasse ausschlaggebend ist. Zudem sollten die Rissmonitore regelmäßig überprüft werden, da somit rein durch geotechnische Sensoren Deformationen nahezu ohne Standardabweichung festgestellt werden können.



Abbildung 21: Rissmonitor an Kontrollpunkt

7.4 Graphische Darstellung als Rutschvektor

Die Veränderung zur Vormessung wurden mithilfe von QGIS als Rutschvektor dargestellt, um eine Tendenz der Bewegung der Erdmassen erkennen zu können mit einem bildhaften Maß für die Stärke der Ausdehnung. Durch die hohe Standardabweichung wird die Stärke der Ausdehnung in diesem Fall abgefälscht aber trotzdem lässt sich auf die allgemeine Bewegungsrichtung der Rutschmasse an den einzelnen Punkten schließen. So lässt sich erkennen, dass sich die Punkte am Hang mit einer Tendenz zum Moselbett hin bewegen oder es Querverschiebungen im Weg gibt und die Punkte sich parallel zum Weg verschieben. Die Punkte am oberen Wegrand weisen allgemein sehr geringe Verschiebungen auf nach oben zum Hang oder als parallele Verschiebung, sodass nicht sicher auf die Richtung geschlossen werden kann,

allerdings tendieren die Punkte 34 und 30 stärker zum Hang nach oben hin. Die parallelen Verschiebungen können aus starken Maschinennutzung und Bauarbeiten resultieren. Die Verschiebung von Punkt 30 mit einer Längsverschiebung von 40 mm lässt auf eine geringe Verschiebung zum oberen Hang hin schließen, was z.B. Durch Zusammentreffen von verschiedenen Rutschmassen erklärbar ist, die den Punkt nach oben schieben oder durch Verschiebungen durch exogene Kräfte. Insgesamt kann gesagt werden, dass sich die allgemeine Vermutung bestätigt, dass sich die Punkte hangabwärts bewegen, wie es sinngemäß zu erwarten ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde nur der Teil der nördlichen Mauer als Rutschvektor dargestellt. Allerdings decken sich die Ergebnisse mit den anderen Abschnitten und es lässt sich eine Tendenz zum Moselbett hin erkennen.



Abbildung 22: Rutschvektor aus dem tabellarischen Vergleich (QGIS und Google WMS-Daten)

Maßstab 1:1200

Vektormaßstab 1m $\hat{=}$ 1cm

8 Reflexion der Forschungsfragen und Fazit der Bachelorarbeit

Abschließend kann gesagt werden, dass die Ziele der Bachelorarbeit in vollem Umfang erfüllt worden sind. Die Genauigkeitsvorgaben aus der Netzplanung wurden in der Rahmennetzmessung, sowie in der Gesamtnetzmessung erreicht und der neue Netzaufbau war somit erfolgreich. Nun sollen abschließend die Forschungsfragen beantwortet werden, mit den Erkenntnissen, die aus der Arbeit gezogen wurden.

- Ist die tachymetrische Netzmessung wirtschaftlich und technisch sinnvoll im Gegensatz zur GNSS-Messung zur Feststellung von Deformationen an Kontrollpunkten?

→ Wenn man den Arbeitsaufwand gegen die erreichte Genauigkeit abwägt, würde man eher dazu tendieren, eine GNSS-Messung durchzuführen, um Deformationen zu detektieren, wenn sie sich nicht in einer wirklichen geringen Einheit bewegen und Genauigkeiten im Bereich von wenigen mm benötigt sind. Für die Rahmennetzmessung wurden etwa 10 Stunden Messaufwand investiert und für die Gesamtnetzmessung etwa 32 Stunden Messaufwand. Mit dem Aufwand der Netzplanung erreicht man einen Aufwand von etwa 50 Zeitstunden für den gesamten Messaufwand. Für die GNSS-Messung aller Kontrollpunkte wird nur etwa ein Zeitaufwand von 8 Stunden benötigt. Der Zeitaufwand für die terrestrische Messung ist also um ein Vielfaches höher als bei der GNSS-Messung. Zudem sind die Beobachtungen nur sehr beschränkt durchführbar, durch den hohen vegetativen Aufwuchs und das starke Gefälle. Damit müssen die Beobachtungen immer wieder neu geplant werden, da immer ein anderer Punkt nicht sichtbar sein kann. Da sich ein Tachymeter auf horizontale Beobachtungen beschränkt, die vielfach blockiert werden, eignet sich ein GNSS-Empfänger besser, durch seine Messung vertikal nach oben. Zudem gibt es in diesem Gebiet keine Bäume, die für Abschattung sorgen könnten und der Hang flacht nach oben aus, wodurch ebenfalls begrenzt Satelliten aus dieser Richtung als Referenz verwendet werden können. Der Anschluss an deformationsfreies Gelände ist zudem problematisch, da die Strecken zum Teil sehr weit sind, was sich auf die Genauigkeit auswirkt und die einzigen Stellen die zur Verfügung stehen befinden sich neben einer stark befahrenen Straße, was systematische Abweichungen mit sich bringt und die Stationierung verfälscht. Der einzige Vorteil der terrestrischen Netzmessung ist die höhere Genauigkeit, die allerdings mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden ist und die bessere Verfügbarkeit der Messgeräte. Für dieses Gebiet mit seinen hochpräzisen Anforderungen erachte ich

die terrestrische Messung trotzdem als sinnvoll, allerdings in beschränkten Maßen und würde eine Kombination der beiden Messverfahren vorschlagen. Dabei würden die Punkte in regelmäßigen Abständen, wie zurzeit, mit SAPOS-GPPS kontrolliert werden und in einem größeren Abstand würde eine terrestrische Kontrollmessung durchgeführt werden, um eine höhere Genauigkeit zu liefern und die GNSS-Messungen zu relativieren. Dadurch würde der Arbeitsaufwand sich in Grenzen halten, und es wäre hochpräzise Daten verfügbar.

➤ Sind die Maßnahmen, die bisher zur Verminderung von Rutschungen vorgenommen wurden erfolgreich gewesen und wie könnten sie optimiert werden?

→ Bisher wurden zwei Planierungsarbeiten an Flächen vorgenommen, die überwacht werden, einmal im September 2018 an der zentralen Mauer und im April 2019 an der nördlichen Mauer im Verfahren. Zudem wurden Erdstützscheiben in die Mauern eingelassen und mit einer Hydro-Zementierung wurde das Fundament gesichert. Außerdem wurden nach den Planierungen im April 2019 zusätzlich Drainagerohre gelegt, um das Grundwasser abzuleiten, um den Hang zu entlasten. Zusätzlich wurden im Mai 2019 Rissmonitore an den Mauern angebracht, wo es zu starken Deformationen kam. Man kann erkennen, dass nach den Planierungsarbeiten die Deformationen zur vorherigen Messung schwächer sind, also die Deformationen davor, allerdings könnte dies auch wetterbedingt sein oder andere physikalische Faktoren könnten dies beeinflussen. Zudem lassen sich nach dem Einsetzen der Drainagerohre Verbesserungen erkennen und nach der Verankerung der Mauern. Die Sicherungsmaßnahmen konnten bis jetzt im besten Fall die Rutschungen verlangsamen, aber an keinem Kontrollpunkt eine echte Stabilisation herstellen, da sich die Deformationen zur Vormessung immer noch meist im Bereich mehrerer cm befinden. (*GPS-Kontrolle DLR-Mosel/ Stand Juni 2019). Trotzdem bewerte ich die bisherigen Maßnahmen als sinnvoll, da immer eine Verbesserung zur Vormessung eintrat, auch wenn nicht zweifelsfrei davon ausgegangen werden kann, dass die Maßnahmen alleine der Grund dafür sind oder zum Beispiel stärkere Aufwuchs im Sommer, der den Hang stabilisiert. Zudem hätten die Rutschungen ohne die Sicherungsmaßnahmen potenziell noch schlimmer sein können und die Bauwerke könnten stark beschädigt sein. Die neuen Rissmonitore erachte ich als sehr sinnvoll, da somit Deformationen auch ohne terrestrische Messung oder GPS-Kontrolle erfasst werden können und der Aufwand sehr gering ist. Es sollte sich verstärkt auf die Wasserableitung im Hang

konzentriert werden, da dies oft der ausschlaggebende Faktor bei Rutschungen ist, und an den Sonden im Gebiet teilweise große Wassermengen detektiert wurden. Zudem sollten im Bereich der Landespflege vom DLR unter Umständen tiefwurzelnden Sträucher und Bäume sinngemäß integriert werden, sodass sie der Nutzung nicht schaden und trotzdem zur Sicherung beitragen. Zudem ist das bereits teilweise verwendete Hydro-Zementationsverfahren durchaus effizient und entspricht der neusten Technik, wodurch es sich anbieten würde, darauf eventuell zurück zu greifen, obwohl dies mit der landwirtschaftlichen Nutzung schwer zu vereinbaren ist. Außerdem gäbe es die Möglichkeit, instabile Flächen mit Diagonalgittern zu versehen, wodurch die gesichert wären und Vegetation die Fläche über Zeit selbst sichern würde, durch Bewuchs der vergitterten Flächen.



Abbildung 23: Erdstützscheiben an Stützmauer

- Wie sollte mit Flurbereinigungsgebieten verfahren werden, in denen es bekannter weißer zu Deformationen kommen wird, sollten diese Verfahren überhaupt in dieser Form eingeleitet werden und wie kann man sie bestmöglich bearbeiten und abschließen?

→ Die Flurbereinigungsverfahren mit solchen Ausmaßen an Deformationen sind oft Weinbergs Verfahren an der Mittelmosel. Somit sind die Produktionsgüter sehr ertragreich und existentiell wichtig für die Region und die Winzer. Zudem tragen die Weinberge der Mosel zur allgemeinen Landeskultur bei und treiben den Tourismus der Region stark voran. Da die Flurbereinigungsverfahren die Produktions- und Arbeitsbedingungen verbessern sollen, sowie die Landeskultur fördern sollen, erscheinen die Verfahren trotzdem sinnvoll in der Anordnung, da sie signifikant wichtig sind um eine gute Infrastruktur in den Weinbergen zu garantieren und die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Insofern würde es keinen Sinn machen, diese Verfahren einfach nicht mehr anzuordnen. Allerdings könnte beim Scoring-Verfahren ein Merkmal eingeführt werden, wobei Verfahren mit bekannter Hangrutschgefahr abgestuft werden und andere Verfahren der Vorrang erhalten. Zudem müssen vor der Anordnung direkt eingehende geologische Untersuchungen vom Landesamt durchgeführt werden, um festzustellen, ob sich die Anordnung lohnt, oder ob die Rutschungen einen zu großen Aufwand erzeugen würden. Falls es zur Anordnung kommen sollte, sollte direkt ein Überwachungsnetz für das Verfahrensgebiet angelegt werden und Sonden sollten gelegt werden mit Inklinometern und weiteren geotechnischen Messsensoren, um frühzeitig die besonders gefährdeten Bereiche festzustellen. Während der Bearbeitung des Verfahrens sollte dauerhaft das Landesamt für Geologie und Bergbau über den aktuellen Stand unterrichtet werden und bei wichtigen Verfahrensschritten (Plan nach §41 FlurbG) sollte das Landesamt mit einbezogen werden und eine tragenden Rolle spielen und den Plan wenn möglich zusammen mit der Flurbereinigungsbehörde erstellen, unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus Netzmessung und geologischer Untersuchung. Mit dem Ausbau in solchen Verfahren müssten direkt Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden an Stellen, an denen es zu Rutschungen kommt oder kommen könnte. Diese Maßnahmen sollten ebenfalls mit dem Landesamt abgesprochen werden. Diese Verfahren sollte also mit Vorsicht bearbeitet werden, und eine gute Kommunikation mit dem Landesamt ist von höchster Bedeutung, da die Verfahren teilweise nicht vom DLR alleine wirtschaftlich bearbeitet werden können. Das Überwachungsnetz sollte auch nach Abschluss des Verfahrens noch kontrolliert werden, um die Bauwerke nachhaltig zu schützen und dafür könnten auch ÖBVI's beauftragt werden oder das Katasteramt. Zudem sollte überlegt werden, einen gesonderten Etat für Sanierungen an Bauwerken bei Hangrutschungen anzulegen oder für Sicherungsmaßnahmen, damit sich die Kosten nicht so stark auf die Beteiligten ausüben, und da die Attraktivität und

Wirtschaftlichkeit der Moselregion von hoher Bedeutung für Rheinland-Pfalz sind, sollte dies durchaus möglich sein.

Glossar

UAV – (wörtlich übersetzt „Unbemannte Luftfahrzeuge“) sind unbemannte, bordautonome Fluggeräte mit implementierter Sensorik. Dabei handelt es sich z.B. um Laserscanner (aerial Laserscanning) oder hochauflösende Kameras für photogrammetrische Zwecke. (*<https://www.dglr.de/?id=2502> / Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt)

Extensometer – Umgangssprachlich auch Dehnungssensor genannt. Dehnungsaufnehmer messen kleinste Dehnungen im Rahmen von Maschinen und in der Konstruktion von Bauwerken. Sie bestehen aus einem Stahlträger mit einer dünnen Membrane, auf welchen Dehnmessstreifen aufgeklebt sind. Werden die Dehnungsaufnehmer kraftschlüssig mit dem Rahmen oder einer tragenden Konstruktion verschraubt, übertragen sich die Dehnungen auf den Dehnungsaufnehmer. (*https://www.xsensors.com/kraftmessung_mit_dehnungsaufnehmer.html)

Kohäsion – In der Bodenmechanik auch als Haftfestigkeit bekannt. Beschreibt alle zusammenhaltenden Kräfte in bindigen Böden. (* Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde)

Literaturverzeichnis

Allgemeine Bauzeitung (2018) : Photogrammetrische Drohnenvermessung auf den Prüfstand gestellt. <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/ermittlung-der-genauigkeit-von-gelaendaufnahmen-photogrammetrische-drohnenvermessung-auf-den-pruefstand-gestellt-27841.html>

S. Knospe (2011) : Die Anwendung der satellitengestützten Radarinterferometrie zur großräumigen Erfassung von Höhenänderungen

Leica Geosystems offizielle Website (2018) : Allgemeine Daten zu Messgeräten

Google LLC (2018) : Google Maps WMS-Daten

Frank Neitzel (2004) : Nullvarianz-Rechenbasis und Eigenschaften der Koordinaten bei freier Netzausgleichung

Springer Verlag, GmbH Deutschland W. Schwarz (2017) : Methoden und Modelle bei ingenieurgeodätischen Überwachungen

Lehman/Scheffler (2006) : Zur Grobfehlererkennung in geodätischen Deformationsnetzen

Dipl.- Ing. Ulrich Marcus Schmidt(2004) : Objektorientierte Modellierung zur geodätischen Deformationsanalyse

GeolR. Dr. M Rogall(2008) : Ingenieurgeodätische Verhältnisse im Bereich der Flurbereinigung Graach Himmelreich

Mechelke, Lindstaedt, Sternberg, Kersten (2012) : Bauwerks Monitoring mit terrestrischen Laserscanning- Eine Machbarkeitsstudie

TU Dresden Prof. Dr.- Ing. habil. M.Möser (2013) : Bauwerksüberwachung/Deformationsanalyse

Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (2010) : Lehrbuch der Bodenkunde

Deutsche Gesellschaft für Luft und Raumfahrt (2018) : <https://www.dglr.de/>

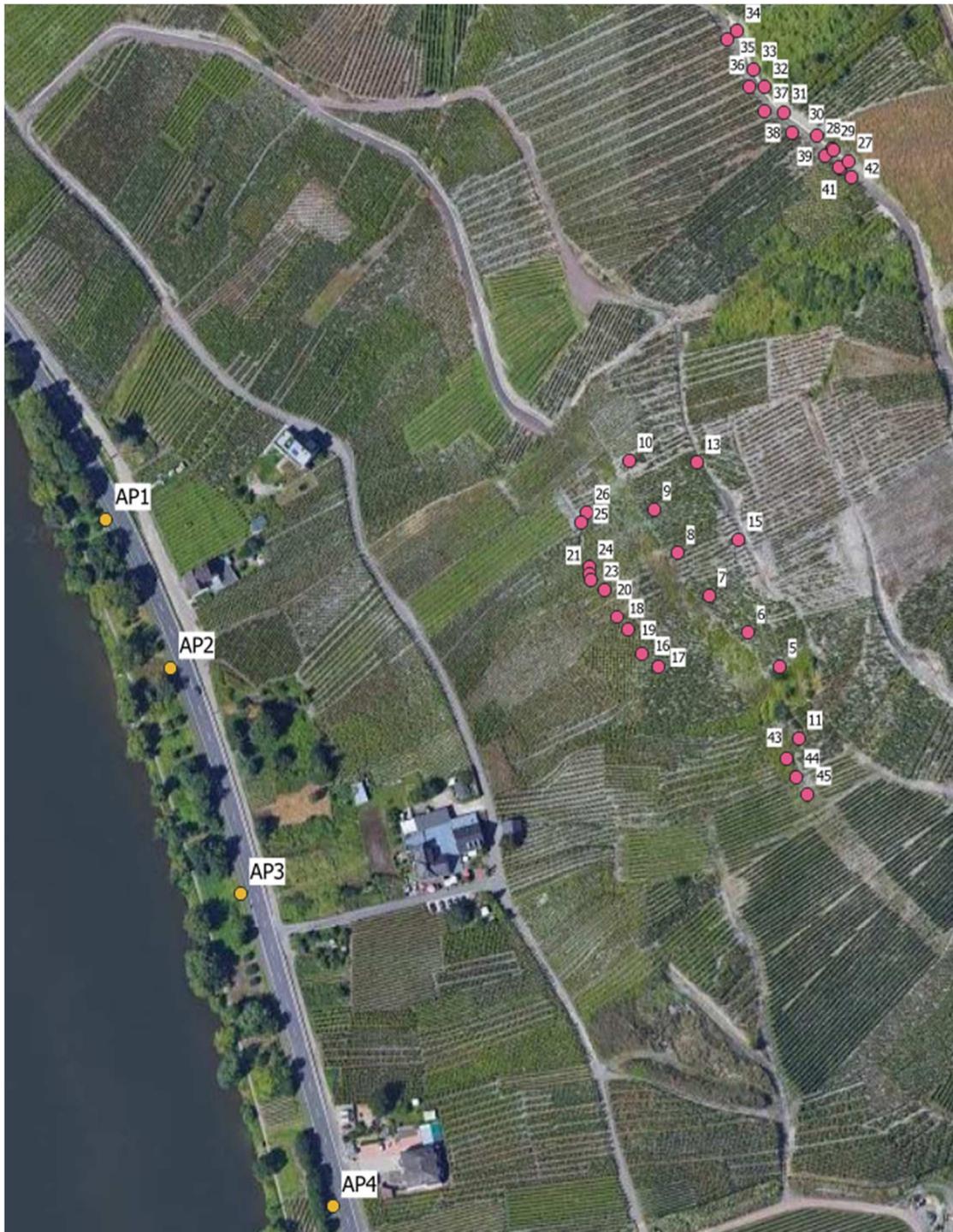
XSensors Technology and Innovation (2019) : https://www.xsensors.com/kraftmessung_mit_dehnungsaufnehmer.html

Word-Dokument Vorlage (2018) : Evaluierung eines modernen Messverfahrens zur Deformationsanalyse flächenhafter Ingenieurbauwerke

Stichwortverzeichnis

- Ausgleichung 30, 34, 35, 36
- Befliegung 25
- Datumspunkte 14, 24, 26, 28, 29, 30, 33, 34
- Deformationen 3, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 39, 41, 44, 45, 46, 47
- Deformationsmonitoring 13
- Drainagerohre 42, 45
- Gegenmaßnahmen 11, 16
- Geländeschnitte 22
- Geometrie 29, 37, 38
- Gesamtnetz 3, 29, 30, 32, 34
- Halbsätzen 26
- Höhengenauigkeit 11, 38
- Hydro-Zementierung 45
- Inklinometer 13, 20
- Konfidenzellipsen 30, 31
- Koordinatenreferenzsystem 35
- Kriechbewegungen 21, 41
- Lagegenauigkeit 11, 38, 41
- Laserscanner 13
- Netzmessung 11, 12, 14, 29, 33, 34, 35, 38, 39, 44, 47, 52
- Netzplanungsprogramm 34
- Netzreduktion 31
- Neupunkte 30, 33
- Nullmessung 14, 19, 39, 40, 41
- Optimierung 30, 32, 33
- Orientierung 26, 34, 35
- Passpunkte 26, 33, 37
- Polygonpunkte 25, 26
- Punktfehler 30, 32, 33
- Radarinterferometrie 14, 50
- Rahmennetz 3, 11, 29, 32, 33, 34, 37
- Redundanz 33, 34, 37
- Rutschvektor 42, 43
- Steilhang 18, 24, 26, 34, 35
- Tachymeter 11, 13, 27, 34, 44
- Tonschiefer 21
- Transformation 3, 11, 26, 33, 37
- Überwachungsnetz 3, 11, 16, 41, 47
- Unterhaltungsaufwand 16
- Zuverlässigkeit 25

Anhang A : Übersichtskarte Netzmessung



Maßstab 1:4500 – QGIS und Google WMS-Daten