

Melanie Friedrich

# **Praxisvergleich der Punktbestimmung bei photogrammetrisch und terrestrisch bestimmten Punktfeldern der Waldflurbereinigung**

**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: B0316**

Mainz  
Juli 2019

---

## Vermerk über die fristgerechte und vollständige Abgabe der Abschlussarbeit

Abgegeben bei:

.....

(Name)

Schriftlicher Teil       analog       digital

Poster                     analog       digital

Internet-Präsentation                     digital

Erfassungsbogen         analog       digital

Datenträger (CD/DVD)                   

Dateiname:                Bachelorarbeit\_Melanie\_Friedrich.docx

Anzahl Zeichen:            160832

Anzahl Wörter:            24684

Anzahl Seiten:            108

Arbeit angenommen:

Mainz, den

.....

(Datum)

.....

(Unterschrift)

© 2019 Friedrich

Dieses Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

## Aufgabenstellung

Hochschule Mainz

Fachbereich Technik

Lehreinheit Geoinformatik und Vermessung

Lehrbeauftragter: Ministerialrat a.D. Prof. Axel Lorig

### Aufgabe für die Bachelorarbeit für Frau Melanie Friedrich

**Thema: Praxisvergleich der Punktbestimmung bei photogrammetrisch und terrestrisch bestimmten Punktfeldern der Waldflurbereinigung**

#### **Sachverhalt:**

Das am besten geeignete Instrument, um die Voraussetzung zu schaffen, den Wald mit seinen vielfältigen Funktionen zu sichern und wiederherzustellen, ist nach [KÖNIG (1985)] die Waldflurbereinigung. Sie hat zur Aufgabe die im Laufe der Zeit entstandenen strukturellen Mängel und Probleme zu beheben.

Konkret bedeutet das die Zusammenlegung sowie Neuordnung von Flurstücken und daraus resultierend die Schaffung von größeren Bewirtschaftungseinheiten. Auch werden unwirtschaftlich geformte Grundstückszuschnitte neugestaltet. Hinzu kommt, dass klare Rechts- und Eigentumsverhältnisse geschaffen werden müssen, damit eine sinnvolle Neugestaltung der Flurstücke überhaupt möglich ist. Ein weiteres überwiegendes Problem im Wald ist die schlechte Infrastruktur, die eine ertragsbringende Forstwirtschaft oft nicht zulässt.

Ziel der Waldflurbereinigung ist es daher diese schlechte Infrastruktur so zu verbessern, dass Wege ganzjährig befahrbar sind. Zusätzlich sollten diese an das übergeordnete Wegenetz angeschlossen sein, damit das Holz ohne Schwierigkeiten abtransportiert werden kann. Mit einer guten Infrastruktur sind die Waldflächen auch in Katastrophenfällen besser erreichbar. Bei der Schaffung eines neuen Wegenetzes ist es wichtig, dass die Wegeführung und -dichte an die Topographie und die wirtschaftlichen Erfordernisse angepasst werden. Zusätzlich sollte ausreichend Platz für Holzaufarbeitungs- und Holzlagermöglichkeiten sein. Dadurch werden die Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Forstwirtschaft verbessert und das Ziel, die Holzproduktion zu steigern sowie die Produktionskosten zu senken erreicht. Aufgabe der Waldflurbereinigung ist es außerdem noch, die Anliegen des Natur- und Landschaftsschutzes zu berücksichtigen und entsprechende Maßnahmen durchzuführen. Ebenso sollte die ökologische Ausgleichsfunktion und die Erholungsfunktion des Waldes stärker beachtet werden, indem neue Erholungseinrichtungen geschaffen werden.

Verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen wie auch der bundesweite Leistungsvergleich nach Artikel 91d Grundgesetz belegen eindrucksvoll die volkswirtschaftlichen Effekte der Waldflurbereinigung. Aus den auch methodisch unterschiedlichen Berechnungen seien folgende Werte beispielhaft genannt, um die Größenordnungen des Wertschöpfungspotenzials von Waldflurbereinigungen zu verdeutlichen: Mit 53.000 Euro/ha kann nach Berechnungen von [Hinz (2012)] der umfassende Nutzen einer Waldneuordnung bei durchschnittlichen Ausgangsverhältnissen bewertet werden. Günzelmann berechnete 2011 für den Kleinstprivatwald in Unterfranken eine jährliche nachhaltige Gesamtwertschöpfung von 2.200 Eu-

ro/Jahr/ha. Kapitalisiert man diesen Jahreswert mit 2,5 %, resultiert ein Vergleichswert zu den Kosten von 88.000 Euro/ha.

Die Herstellung der Grenzsicherheit ist nach [Hinz (2012)] neben der Erschließung die bedeutendste Verbesserung der Arbeits- und Produktionsbedingungen im Privatwald. Für die hiermit verbundenen Vermessungsarbeiten können unterschiedliche Methoden der terrestrischen Vermessung, der Punktfestlegung im Stereomodell und des Laserscanings eingesetzt werden.

In dieser Bachelorarbeit soll der theoretische und praktische Einsatz der Luftbildvermessung mit zwei unterschiedlichen GNSS-Vermessungen praktisch untersucht und gegenübergestellt werden. Anhand des Pilotverfahrens „Struthgemeinden“ in Rheinland-Pfalz soll daraus ein Vorschlag für ein kombiniertes, innovatives Vermessungsverfahren der Waldflurbereinigung in Rheinland-Pfalz abgeleitet werden.

### **Aufgabe:**

1. Der Stand der Forschung zur „Waldflurbereinigung (mit Schwerpunkt innovative Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung)“ ist knapp darzustellen. Daraus sind konkrete Forschungsfragen für diese Arbeit abzuleiten.
2. Die vermessungstechnische Bearbeitung von Waldflurbereinigungsverfahren ist systematisch zu erläutern und an bisherigen Praxisbeispielen aus der Eifel darzustellen.
3. Aus dem Flurbereinigungsgebiet Struth (681 ha, über 7 Gemeinden in 5 getrennt liegende Teilgebiete gegliedert) sind drei neu gebaute Waldwege (in Anlage 1 blau markiert) möglichst in unterschiedlichen Hängigkeiten und mit unterschiedlichem Aufwuchs auszuwählen. Diese Waldwege sind photogrammetrisch (bei der technischen Zentralstelle) und mit zwei unterschiedlichen GNSS-Geräten zu vermessen. Eines der GNSS-Geräte soll die Qualität haben, die photogrammetrischen Messungen gezielt zu ergänzen (z.B. in weitgehend undurchsichtigen Waldbereichen und sehr hängigen Lagen). Die Vorgehensweisen sind umfassend zu beschreiben.
4. Die Ergebnisse der drei verschiedenen Vermessungsansätze sind im Hinblick auf die erzielten Punktausfälle, Genauigkeiten der Punktbestimmung, Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit ausführlich zu vergleichen.
5. Es ist ein Vorschlag für die weitere Vorgehensweise der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz auszuarbeiten. Dieser soll auch ein Beschaffungs-, Einführungs- und Schulungskonzept für ein GNSS-Gerät enthalten, das die Qualität hat, die photogrammetrischen Messungen gezielt zu ergänzen.
6. Aus der Erprobung und dem Vergleich der Vermessungstechnik und den weiteren eigenen Untersuchungsergebnissen sind Antworten auf die nach 1. gestellten Forschungsfragen zu formulieren.

Prof. Axel Lorig

Anlage 1: Waldflurbereinigung in den Struth-Gemeinden

Zeitpunkt der Ausgabe der Arbeit: 20. Mai 2019

Zeitpunkt der Abgabe der Arbeit: 29. Juli 2019

## Kurzzusammenfassung

Die Herstellung der Grenzsicherheit und die Abmarkung der Grenzen sind wichtige Ziele bei der Durchführung von Waldflurbereinigungsverfahren. Für die damit verbundenen Vermessungsarbeiten werden der Einsatz der Photogrammetrie, der GNSS- Vermessung und der GNSS- Vermessung mit einem Inertialsystem theoretisch analysiert und praktisch am Waldflurbereinigungsverfahren „Struth (Wald)“ untersucht. Die verschiedenen Vermessungsansätze werden anschließend anhand der erzielten Punktausfälle, der Genauigkeiten der Punktbestimmung und anhand der Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit der Methoden verglichen. Aus den Ergebnissen der Untersuchung und der Darstellung der bisherigen vermessungstechnischen Bearbeitung der Waldflurbereinigung wird erläutert, welche innovativen Vermessungsverfahren zum Einsatz in der Waldflurbereinigung geeignet sind.

In Bezug auf den Einsatz der Photogrammetrie wird der bisherige Zeitpunkt der Befliegung der Flurbereinigungsverfahren überdacht und Vorschläge für neue Befliegungszeitpunkte ausgearbeitet.

Zusätzlich wird ein Vorschlag für die weitere Vorgehensweise der Flurbereinigungsverwaltung des Landes Rheinland- Pfalz entwickelt, der ein Konzept zur Beschaffung, Schulung und Einführung des getesteten GNSS- Geräts mit Inertialsystem enthält.

**Schlagwörter:** Waldflurbereinigung, innovative Vermessungsverfahren, Inertialsystem, Befliegung

## Abstract Summary

The establishment of border security and the marking of borders are important objectives in the implementation of forest land consolidation procedures. For the associated surveying work, the use of photogrammetry, GNSS surveying and GNSS surveying with an inertial system will be theoretically analysed and practically investigated using the forest land consolidation procedure “Struth (Wald)”. The various surveying approaches are then compared on the basis of the achieved point failures, the accuracies of the point determination and the cost-effectiveness and manageability of the methods. From the results of the investigation and the presentation of the previous surveying work on forest land consolidation it is explained which innovative surveying methods are suitable for use in forest land consolidation.

With regard to the use of photogrammetry, the present time of the flight of the land consolidation procedures will be reconsidered and proposals for new flight times will be worked out.

In addition, a proposal for the further approach of the administration of land consolidation of the federal state Rhineland- Palatinate is developed, which contains a concept for the procurement, training and introduction of the tested GNSS device with inertial system.

**Keywords:** forest land consolidation, innovative surveying methods, inertial system, aerial survey

# Inhaltsverzeichnis

<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>- 2 -</b>
<b>Kurzzusammenfassung</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>Abstract Summary</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>- 5 -</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>- 9 -</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>- 10 -</b>
<b>Vorbemerkung</b> .....	<b>- 12 -</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>- 13 -</b>
<b>2 Überblick</b> .....	<b>- 15 -</b>
2.1 Verwaltungsaufbau der Flurbereinigungsbehörden .....	- 15 -
2.2 Stand der Forschung zur Vermessung in der „Waldflurbereinigung“.....	- 16 -
2.3 Konkrete Forschungsfragen .....	- 18 -
<b>3 Untersuchungen der vermessungstechnischen Bearbeitung an Praxisbeispielen</b> .....	<b>- 19 -</b>
<b>4 Innovative Maßnahmen</b> .....	<b>- 33 -</b>
4.1 Photogrammetrisch.....	- 33 -
4.1.1 Befliegung.....	- 33 -
4.1.2 PuDig im Orthophoto.....	- 34 -
4.1.3 PuDig im Stereomodell .....	- 35 -
4.2 GNSS .....	- 36 -
4.2.1 SAPOS® EPS .....	- 38 -
4.2.2 SAPOS® HEPS.....	- 39 -
4.3 GNSS/IMU Kopplung.....	- 39 -
<b>5 Vergleich der Ergebnisse der drei Vermessungsverfahren am Praxisbeispiel „Struth (Wald)“</b> .....	<b>- 44 -</b>
5.1 Flurbereinigungsverfahren Struth (Wald).....	- 44 -
5.2 Terrestrisch bestimmte „Soll-Koordinaten“ .....	- 50 -
5.3 Punktausfälle.....	- 51 -
5.3.1 Photogrammetrie.....	- 51 -
5.3.2 GNSS .....	- 60 -
5.3.3 GNSS/IMU .....	- 61 -
5.3.4 Zwischenfazit der Punktausfälle .....	- 62 -

5.4	Genauigkeiten der Punktbestimmung.....	- 62 -
5.4.1	Photogrammetrie.....	- 62 -
5.4.2	GNSS .....	- 65 -
5.4.3	GNSS/IMU Kopplung.....	- 69 -
5.4.4	Zwischenfazit bezüglich der Genauigkeit der Punktbestimmung .....	- 73 -
5.5	Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit .....	- 74 -
5.5.1	Terrestrische Vermessung .....	- 74 -
5.5.2	Photogrammetrie.....	- 75 -
5.5.3	GNSS .....	- 76 -
5.5.4	GNSS/ IMU .....	- 77 -
5.5.5	Zwischenfazit Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit .....	- 78 -
5.6	Fazit des Vergleichs .....	- 79 -
<b>6</b>	<b>Einsatz von neuen Messtechniken.....</b>	<b>- 82 -</b>
6.1	Beschaffungskonzept.....	- 82 -
6.1.1	Darstellung der Notwendigkeit der Beschaffung .....	- 82 -
6.1.2	Beschreibung des Anwendungs-/ und Einsatzbereiches.....	- 82 -
6.1.3	Mindestanforderungen an das Vermessungsgerät.....	- 82 -
6.1.4	Organisatorische Rahmenbedingungen .....	- 83 -
6.1.5	Sonstiges .....	- 83 -
6.2	Einführungskonzept.....	- 83 -
6.3	Schulungskonzept.....	- 84 -
6.4	Vorschlag für die weitere Vorgehensweise des Landes RLP.....	- 84 -
<b>7</b>	<b>Zeitpunkt der Befliegung.....</b>	<b>- 88 -</b>
7.1	Möglichkeit der zweiten Befliegung.....	- 88 -
7.2	Verzicht auf die erste Befliegung.....	- 89 -
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>- 92 -</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>- 95 -</b>
	<b>Anhang A: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS HEPS Messung in Weg 1.....</b>	<b>- 99 -</b>
	<b>Anhang B: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS HEPS Messung in Weg 2.....</b>	<b>- 101 -</b>
	<b>Anhang C: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS HEPS Messung in Weg 3.....</b>	<b>- 102 -</b>
	<b>Anhang D: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS EPS Messung.....</b>	<b>- 104 -</b>
	<b>Anhang E: Inhalte der DVD .....</b>	<b>- 106 -</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>	<b>- 107 -</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Eigentümer des Waldes in RLP (Quelle: Landesforsten verändert) .....	- 13 -
Abbildung 3-1 Unterschied zwischen tatsächlichen Nutzung und dem Katasternachweis (Quelle: König (2018a)).....	- 19 -
Abbildung 3-2 Versagen des Katasternachweis ( Deformierung) (Quelle: [Hinz (2012b)] ..	- 20 -
Abbildung 3-3 Vermessungskonzept des Flurbereinigungsverfahren Leidenborn (Quelle: Sungen (2018a)).....	- 22 -
Abbildung 3-4 Darstellung der tatsächlich vermarkten Grenzen im Verfahren Schönecken (Quelle: Schumacher (1998)).....	- 25 -
Abbildung 3-5 Toleranzbereich des Grenzverlaufs (Quelle: Heitze, Malzer, Willmes (2016a)).....	- 26 -
Abbildung 3-6 verschiedene Arten von Grenzsteinen (Quelle: links: [Primacom (2007)]; rechts: [Goecke (2018)]) .....	- 30 -
Abbildung 3-7 zusätzliche Kennzeichnung einer Eigentumsgrenze mit Plastikrohr und eigener Nummerierung des Flurstücks durch den Waldeigentümer im Waldflurbereinigungsverfahren Lissingen (Quelle: [Hinz (2012e)]).....	- 31 -
Abbildung 3-8 zusätzliche Kennzeichnung der abgehenden Eigentumsgrenze durch den Waldeigentümer mit langem Eisenrohr im Waldflurbereinigungsverfahren Hinterhausen- Budesheim (Quelle: ([Hinz (2012e)]) .....	- 31 -
Abbildung 3-9 zusätzliche Kennzeichnung einer Eigentumsgrenze mit Plastikschlauch durch den Waldeigentümer im Waldflurbereinigungsverfahren Lissingen (Quelle: [Hinz (2012e)]) .....	- 31 -
Abbildung 4-1 Erkennbarkeit eines Signalisierungspunktes im Wald .....	- 34 -
Abbildung 4-2 Entzerrung eines Luftbilds (Quelle: Schlüter (2017a)) .....	- 35 -
Abbildung 4-3 Funktionsweise des Stereomodells (Quelle: <a href="https://www.3d-pluraview.com/wp-content/uploads/2018/06/schneider-digital-3d-pluraview-beamsplitter-technologie.jpg">https://www.3d-pluraview.com/wp-content/uploads/2018/06/schneider-digital-3d-pluraview-beamsplitter-technologie.jpg</a> ).....	- 36 -
Abbildung 4-4 SAPOS-Dienste (Quelle: <a href="https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html">https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html</a> ).....	- 38 -
Abbildung 4-5 Funktionsweise einer IMU (Quelle: <a href="https://www.gleisbauwelt.de/lexikon/gleisbau-und-instandhaltung/gleisvermessung/vormessen-mit-inertialmesssystem/">https://www.gleisbauwelt.de/lexikon/gleisbau-und-instandhaltung/gleisvermessung/vormessen-mit-inertialmesssystem/</a> ).....	- 40 -
Abbildung 4-6 Zwei TERRAcontrol Systeme.....	- 41 -
Abbildung 4-7 IMU im Auto verbaut.....	- 43 -
Abbildung 4-8 Antennen mit Dachträger auf einem Auto.....	- 43 -
Abbildung 5-1 Übersicht des Verfahrensgebiets und der vorweg gebauten Wege (Quelle: DLR Eifel).....	- 45 -
Abbildung 5-2 Lage und Verlauf des ersten ausgewählten Weges.....	- 46 -
Abbildung 5-3 Detailfotos 1 bis 4.....	- 47 -
Abbildung 5-4 Lage und Verlauf des zweiten Weges .....	- 48 -
Abbildung 5-5 Detailfoto 1.....	- 48 -
Abbildung 5-6 Lage und Verlauf des Weges 3.....	- 49 -
Abbildung 5-7 Detailfotos 3 und 4.....	- 50 -
Abbildung 5-8 Detailfotos 1 und 2 .....	- 50 -
Abbildung 5-9 Punktausfälle bei der photogrammetrischen Auswertung in Weg 1 .....	- 53 -
Abbildung 5-10 Punktausfälle bei der photogrammetrischen Auswertung in Weg 2 .....	- 55 -
Abbildung 5-11 Punktausfälle bei der photogrammetrischen Auswertung in Weg.....	- 57 -

---

Abbildung 5-12 Sichtbarkeit eines Wegeabschnitts im Orthophoto (links) und ausgewerteter Weg (rechts).....	- 58 -
Abbildung 5-13 sichtbarer Weg im Nadelwald.....	- 59 -
Abbildung 5-14 Teil eines nicht luft sichtbaren Weges.....	- 60 -
Abbildung 5-15 Vergleich der tachymetrisch bestimmten Trasse mit der photogrammetrisch bestimmten .....	- 64 -
Abbildung 5-16 Vergleich der SAPOS HEPS Messung und der terrestrischen .....	- 69 -
Abbildung 5-17 Genauigkeit der IMU bei 60 Sekunden ohne GNSS Signal .....	- 70 -
Abbildung 5-18 Gegenüberstellung Tachymetermessung zu GNSS/IMU .....	- 72 -
Abbildung 5-19 gut übereinstimmendes Teilstück der IGI- Messung.....	- 73 -
Abbildung 6-1 System "Robin" der Firma GeoSlam (Quelle: <a href="https://www.3dlasermapping.com/robin-mobile-mapping-system/">https://www.3dlasermapping.com/robin-mobile-mapping-system/</a> ) .....	- 86 -
Abbildung 7-1 Schummerungskarte des Weges 2 des Verfahrens Struth (Wald).....	- 90 -

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1 Analyse der Punktausfälle in Weg 1 .....	- 52 -
Tabelle 5-2 Analyse des Punktausfalls in Weg 2 .....	- 54 -
Tabelle 5-3 Analyse der Punktausfälle im Weg 3 .....	- 56 -
Tabelle 5-4 photogrammetrisch auswertbare Wegestrecke .....	- 60 -
Tabelle 5-5 Abweichungen zwischen "Soll"- Koordinaten und SAPOS HEPS Messung in Weg 1 .....	- 65 -
Tabelle 5-6 Abweichungen zwischen "Soll"- Koordinaten und SAPOS HEPS Messung in Weg 2 .....	- 66 -
Tabelle 5-7 Abweichung zwischen "Soll"- Koordinaten und SAPOS HEPS Messung in Weg 3 .....	- 67 -
Tabelle 5-8 Abweichung zwischen den "Soll"- Koordinaten und SAPOS EPS Messung in Weg 3 .....	- 67 -
Tabelle 5-9 Abweichungen zwischen "Soll"-Koordinaten und SAPOS HEPS- Koordinaten-	68 -
Tabelle 5-10 Abweichungen zwischen "Soll"-Koordinaten und SAPOS EPS- Koordinaten-	68 -
Tabelle 5-11 Punkte pro Stunde bei terrestrischer Vermessung.....	- 74 -
Tabelle 5-12 Kosten für die terrestrische Vermessung.....	- 75 -
Tabelle 5-13 Punkte pro Stunde mit einer AK.....	- 75 -
Tabelle 5-14 Punkte pro Stunde mit 2 AK bei Auswertung im Stereomodell .....	- 76 -
Tabelle 5-15 Kosten für die photogrammetrische Vermessung.....	- 76 -
Tabelle 5-16 Punkte pro Stunde mit 1 AK bei GNSS Messung .....	- 76 -
Tabelle 5-17 Kosten für die Vermessung mit GNSS .....	- 76 -
Tabelle 5-18 Punkte pro Stunde mit 1 AK bei GNSS/IMU Messung .....	- 78 -
Tabelle 5-19 Kosten für die Vermessung mit GNSS/ IMU- System .....	- 78 -
Tabelle 5-20 Kostenvorteil der GNSS/IMU- Messung .....	- 78 -
Tabelle 5-21 Kostenvorteil der GNSS- Messung.....	- 78 -
Tabelle 5-22 Kostenvorteil der photogrammetrischen Messung.....	- 79 -
Tabelle 5-23 direkter Vergleich aller drei Vermessungsansätze.....	- 81 -

## Abkürzungsverzeichnis

<b>ADD</b>	Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion
<b>AK</b>	Arbeitskraft
<b>ALS</b>	Airborne Laser Scanning
<b>AP</b>	Aufnahmepunkt
<b>DAVID</b>	Digitalisierung, Aufbereitung und Verbesserung inhomogener Daten
<b>DGM</b>	Digitales Geländemodell
<b>DLR</b>	Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum
<b>DOP</b>	Digitales Orthophoto
<b>E-Brief</b>	Elektronischer Brief
<b>ESA</b>	Europäische Weltraumorganisation
<b>FlurbG</b>	Flurbereinigungsgesetz
<b>FOG</b>	Fibre optic gyros
<b>fN</b>	forstwirtschaftliche Nutzfläche
<b>GIS</b>	Geoinformationssystem
<b>GLONASS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GRIBS</b>	Graphisches Informations- und Bearbeitungssystem
<b>GS14</b>	Geosystems 2014
<b>GS16</b>	Geosystems 2016
<b>GST</b>	Genauigkeitsstufe
<b>ibR</b>	Ingenieurbüro Riemer
<b>IGI</b>	Ingenieurgesellschaft für Interfaces
<b>IMU</b>	Inertial measurement unit
<b>INS</b>	Inertial navigation system
<b>LEFIS</b>	Landentwicklungsfachinformationssystem
<b>LGVerm</b>	Landesgesetzes über das amtliche Vermessungswesen in Rheinland-Pfalz
<b>LGVermDVO</b>	Landesverordnung zur Durchführung des Landesgesetzes über das

	amtliche Vermessungswesen in Rheinland-Pfalz
<b>LVerGeo</b>	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz
<b>MEMS</b>	micro- electro- mechanical gyros
<b>MLS</b>	Mobiles Laser Scanning
<b>MWVLW</b>	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau
<b>NAVSTAR GPS</b>	Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>NTRIP</b>	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol(
<b>ÖbVI</b>	Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur
<b>PuDig</b>	Punktfestlegung durch Digitalisierung
<b>RiLiV</b>	Richtlinien für das Verfahren bei Liegenschaftsvermessungen in Rheinland-Pfalz
<b>RitN</b>	Richtlinien zur Erhebung der tatsächlichen Nutzung
<b>RLP</b>	Rheinland-Pfalz
<b>RTCM</b>	Radio Technical Commission for Maritime Services
<b>SAPOS®</b>	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
<b>SAPOS EPS</b>	SAPOS Echtzeitpositionierungsservice
<b>SAPOS HEPS</b>	SAPOS Hochpräziser Echtzeitpositionierungsservice
<b>SIM</b>	subscriber identity module
<b>tAP</b>	Temporärer Aufnahmepunkt
<b>tN</b>	Tatsächliche Nutzung
<b>TZ</b>	Technische Zentralstelle der Dienstleistungszentren Ländlicher Raum
<b>ÜFP</b>	Übergeordneter Festpunkt
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator
<b>VermKA</b>	Vermessungs- und Katasteramt
<b>VermKÄ</b>	Vermessungs- und Katasterämter
<b>VermKV</b>	Vermessungs- und Katasterverwaltung
<b>vtR</b>	Vermessungstechnischer Raumbezug
<b>WE</b>	Werteinheiten
<b>ZusVermFlurb</b>	Zusammenarbeit der Vermessungs- und Katasterbehörden und der Flurbereinigungsbehörden in Bodenordnungsverfahren in Rheinland-Pfalz

## Vorbemerkung

Die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema „Praxisvergleich der Punktbestimmung bei photogrammetrisch und terrestrisch bestimmten Punktfeldern der Waldflurbereinigung“ wurde beim Dienstleistungszentrum ländlicher Raum (DLR) Eifel geschrieben.

Am DLR Eifel haben mir alle Bediensteten bei der Messung sowie beim Schreiben der Arbeit tatkräftig zur Seite gestanden. Daher möchte ich mich herzlich für deren Unterstützung bedanken.

Insbesondere möchte ich mich bei der Firma IGI bedanken, durch die es möglich war ein neues Messsystem zu testen. Die Hilfsbereitschaft von Herrn Kremer und Herrn Saeed der Firma IGI war so hoch, dass die Planung und Durchführung der Messung sowie die spätere Beantwortung von Fragen problemlos ablief.

Die Arbeit bezieht sich in den vorgenommenen Untersuchungen auf das Pilotverfahren der „Struthgemeinden“. Die inhaltliche Darstellung ist auf das Land Rheinland-Pfalz ausgerichtet.

Aus Gründen der Lesbarkeit und Übersichtlichkeit wird auf die Verwendung von Doppelformen oder anderen Kennzeichnungen für weibliche und männliche Personen verzichtet. Selbstverständlich sind trotzdem mit allen im Text verwendeten Personenbezeichnungen stets beide Geschlechter angesprochen.

Alle Abbildungen, die keine Angaben der Quelle beinhalten, entstammen aus einer eigenen Darstellung. Sämtliche Abbildungen die Ausschnitte aus Orthophotos enthalten, entstammen aus dem Datenbestand des DLR Eifel. Etwaige Bearbeitungen und Kennzeichnungen sind eigens angefertigt. Alle anderen Abbildungen sind mit der entsprechenden Quelle gekennzeichnet.

Ich wünsche viel Freude beim Lesen!

Mainz, im Juli 2019

Melanie Friedrich

## 1 Einleitung

Das Land RLP hat eine Fläche von 1.985.800 ha (Stand 2017) wovon 840 Tausend ha mit Wald bedeckt sind<sup>1</sup> (Stand 2012). In der folgenden Abbildung sind die verschiedenen Eigentümer des Waldes in RLP prozentual zur gesamten Waldfläche abgebildet.

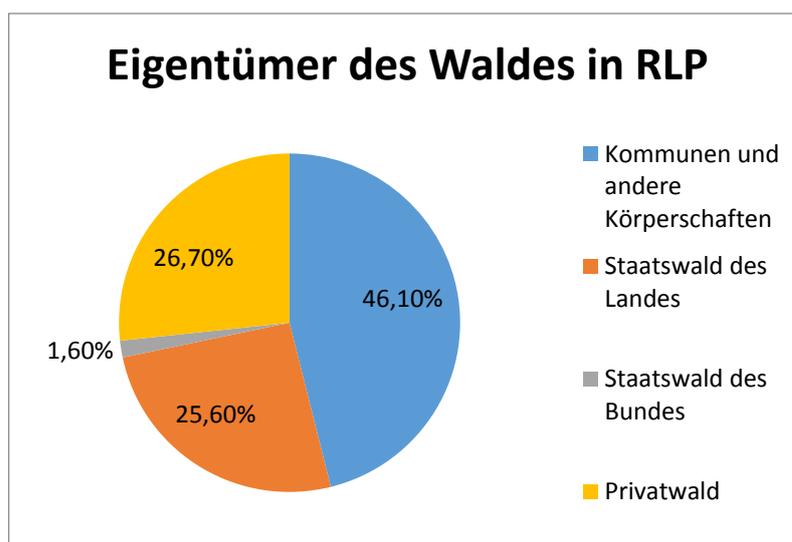


Abbildung 1-1 Eigentümer des Waldes in RLP (Quelle: Landesforsten verändert)

Der Privatwald befindet sich im Eigentum von etwa 330 Tausend Privatwaldeigentümern, die eine Waldfläche von durchschnittlich unter einem Hektar besitzen. Die Flächen des Privatwaldes liegen häufig in Gemengelage und sind unzureichend erschlossen, weshalb eine Bewirtschaftung nur mit erheblichem Aufwand möglich ist.<sup>2</sup> Die Bewirtschaftung wird ebenso durch fehlende LKW-fähige Holzabfuhrwege, fehlende Holzlagerplätze und durch mangelnde Grenzsicherheit aufgrund von großen Abweichungen zwischen dem Katasternachweis und der Örtlichkeit erschwert. Um den Wald wirtschaftlich nutzen zu können und in seinen vielfältigen Funktionen zu sichern und wiederherzustellen, ist die Bodenordnung nach dem FlurbG das am besten geeignete Instrument. Die Waldflurbereinigung behebt Strukturmängel durch

- den Ausbau von Wegen
- Zusammenlegung und Formverbesserung
- Unterstützung forstlicher Maßnahmen
- Vermessung und Abmarkung
- Berücksichtigung öffentlicher Interessen wie des Naturschutzes, der Landespflege und der Erholung<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vgl. [Landesforsten (2012a)]

<sup>2</sup> Vgl. [Landesforsten(2012b)]

<sup>3</sup> Vgl. [Schmitz (2011)]

Um die Waldflurbereinigung weiter effizient durchführen zu können, ist es notwendig Möglichkeiten zu finden, bei denen Kosten eingespart werden können. Die vermessungstechnischen und planerischen Arbeiten umfassen nach [BMS Consulting GmbH(2012)] einen Anteil von 60% der Verfahrenskosten in einem Waldflurbereinigungsverfahren. Ein Großteil der Kosten für vermessungstechnische Arbeiten entsteht durch die Absteckungs- und Aufmessungsarbeiten der Wege. Um die Kosten zur vermessungstechnischen Bearbeitung senken zu können, ist es notwendig Möglichkeiten zu finden, die die zeitintensive terrestrische Vermessung reduzieren.

In dieser Arbeit werden innovative Entwicklungsmöglichkeiten zur Reduzierung des vermessungstechnischen Aufwands für die Aufmessung der ausgebauten Wege analysiert. Die innovativen Maßnahmen werden an einem Praxisbeispiel getestet und auf ihren Nutzen und Anwendung hin bewertet.

## 2 Überblick

Das vorherige Kapitel gab eine kurze Einführung in die Thematik dieser Arbeit. Dieses Kapitel beschäftigt sich zu Beginn mit dem Verwaltungsaufbau der Flurbereinigungsbehörden. Dann wird der Stand der Forschung zur Vermessung in der Waldflurbereinigung erläutert und daraus die Forschungsfragen dieser Arbeit entwickelt.

### 2.1 Verwaltungsaufbau der Flurbereinigungsbehörden

In Rheinland-Pfalz ist die Flurbereinigungsverwaltung in drei Ebenen unterteilt.

Die oberste Ebene bildet das in der Legislaturperiode fachlich zuständige Ministerium. In der Legislaturperiode 2016-2021 ist das „Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau“ (MWVLW) mit Sitz in Mainz als oberste Flurbereinigungsbehörde fachlich zuständig. Dort erfüllt die Abteilung 6 „Agrarpolitik, Agrarförderung und Ländliche Entwicklung“ und insbesondere das Referat 8604 „Ländliche Entwicklung, Bodenordnung und Flurbereinigungsverwaltung“ die Aufgaben der ländlichen Bodenordnung nach dem Flurbereinigungsgesetz (FlurbG).

Die mittlere Ebene bildet die „Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion“ (ADD) mit Sitz in Trier als obere Flurbereinigungsbehörde. Die fachliche Zuständigkeit liegt bei der ADD im Referat 44 „Ländliche Entwicklung, Ländliche Bodenordnung“ der Abteilung 4 „Landwirtschaft, Weinbau und Wirtschaftsrecht“.

Die sechs „Dienstleistungszentren ländlicher Raum (DLR)“ bilden als Flurbereinigungsbehörde die untere Ebene des dreistufigen Verwaltungsaufbaus. Sie sind in Amtsbezirke aufgeteilt und decken somit die gesamte Landesfläche von RLP ab. Die Abteilung „Landentwicklung/ländliche Bodenordnung“ der verschiedenen DLR ist für die Durchführung von Bodenordnungsverfahren nach dem FlurbG zuständig. Die Abteilung Technische Zentralstelle (TZ) ist beim DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück angesiedelt und ist landesweit unter anderem für die Unterstützung der DLR auf dem Gebiet der Beschaffung von Hard- und Software, Netzwerktechnik und der Vermessung zuständig.

Die Abteilung Landentwicklung/ ländliche Bodenordnung im DLR Eifel mit Sitz in Bitburg ist für den Eifelkreis Bitburg-Prüm und den Landkreis Vulkaneifel zuständig. Im Dienstbezirk des DLR Eifel werden derzeit 43 Bodenordnungsverfahren mit einer Fläche von ca. 32 Tausend ha bearbeitet<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Stand 2019 [Henkes(2019)]

## 2.2 Stand der Forschung zur Vermessung in der „Waldflurbereinigung“

[Durben (1996)] zeigte erstmals das photogrammetrische Verfahren der Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig) auf, das zur Vereinfachung der vermessungstechnischen Bearbeitung beiträgt und heute bei ausreichender Bodensicht standardmäßig in jedem Flurbereinigungsverfahren angewendet wird. Näheres zu PuDig wird im Kapitel 4.1 beschrieben.

Der Verzicht auf Abmarkung zur Begrenzung der Wegeflurstücke zum Privateigentum wurde erstmals durch Schumacher[1998] am Flurbereinigungsverfahren Schönecken ausgetestet und ergab eine erhebliche Kosteneinsparung bei den örtlichen Vermessungsarbeiten. Dieses Verfahren wird seitdem flächendeckend in Rheinland-Pfalz praktiziert. Die gesetzliche Grundlage zum Verzicht auf Abmarkung wurde 2000 im §16 Abs.1 LGVerm getroffen

[Nick (2008)] unterteilt die Waldflurbereinigung in zwei Modelle um den verschiedenen Anforderungen an die Waldflurbereinigung gerecht zu werden. Modell 1 ist das bisher praktizierte und bekannte Regelverfahren für laufende oder geplante Flurbereinigungsverfahren. Das Modell 2 ist speziell auf Waldflurbereinigungsverfahren ausgerichtet und verfolgt das Ziel den Wegebau in enger Zusammenarbeit mit der Forstverwaltung vorzuziehen und dann erst die Neugestaltung des Gebiets durchzuführen. Das Modell 2 ist darauf ausgerichtet, dass die Erschließung als vorrangiges Ziel erfolgen soll.

[Pawig (2009)] stellt Überlegungen zu Kosteneinsparungen in der Waldflurbereinigung an, die unter anderem durch Vereinfachung der Vermessung im Zusammenhang mit dem Verzicht auf Abmarkung entlang von Wegen erreicht wird.

[Hinz (2012)] erforscht im Rahmen ihrer Dissertation an der Universität der Bundeswehr in München worin die Wertschöpfung in der Waldflurbereinigung besteht und stellt dazu ein ganzheitliches Modell auf. In diesem Zusammenhang geht sie insbesondere auf die Herstellung der Grenzsicherheit ein mit dem Ergebnis, dass diese für alle Befragten neben der Erschließung der Waldflächen das wichtigste Ziel einer Waldflurbereinigung ist. Die Vermarkung der Grenzen zwischen den verschiedenen Eigentümern ist dabei wichtiger Bestandteil der Herstellung der Grenzsicherheit und trägt entscheidend zur Wertschöpfung bei, da so die Auffindbarkeit der Grenzen durch die Eigentümer gewährleistet werden kann. Die persönliche Wichtigkeit der Abmarkung seitens der Eigentümer wird an einigen Beispielen dargestellt, bei denen die Eigentümer die Grenzen zusätzlich kenntlich gemacht haben.

Außerdem untersucht sie Ansätze, die zur Effizienzsteigerung in der Waldflurbereinigung führen können. Dabei stellt sie fest, dass der Vermessungsaufwand neben der Wertermittlung entscheidend ist für den hohen Arbeitsaufwand und die lange Verfahrensdauer, weshalb die Effizienz der Waldflurbereinigung vor allem durch Kostenreduzierung in diesen Bereichen gesteigert werden kann. Die Effizienzsteigerung im Bereich der Vermessung kann nach Hinz darin erreicht werden, dass auf die Herstellung der Verfahrensgrenze und auf die Abmarkung im Verlauf der Wege weitestgehend verzichtet wird und dass die Punktfestlegung durch Digitalisierung angewandt wird und neue Vermessungsmethoden erprobt werden. PuDig in herkömmlichen Orthophotos ist durch fehlende Bodensicht in Waldgebieten nicht gegeben, wodurch seit 2005 die photogrammetrische Kreuzbefliegung eingesetzt und erprobt wurde und sich bei verschiedenen Waldflurbereinigungsverfahren bewährt hat.

[Baadte (2014)] legte vor der Befliegung des Flurbereinigungsgebietes mehrere Passpunkte in die Wegemitte, die durch die Lage und Art der Vermarkung dauerhaft gesichert wurden. Aufgrund der Vielzahl der Aufnahmepunkte konnten so die Wegegrenzen problemlos terrestrisch aufgemessen werden.

Die Erprobung lasergestützter Messtechnik im Rahmen der Aufmessung von Wegen in Waldflurbereinigungsverfahren in Rheinland- Pfalz (RLP) wurde bereits durch [Bald (2010)] und [König (2018)] durchgeführt.

[Bald (2010)] erläutert Möglichkeiten zur Optimierung der Waldflurbereinigung und stellt dabei die mobile Laserscantechnologie „Eagle Eye“ zur Aufmessung von Waldwegen vor. Die Technologie erreichte die vorgegebenen Genauigkeiten und ist nach Bald für den Einsatz in der Waldflurbereinigung geeignet.

[König (2018)] untersucht die modernen Technologien des Laserscannings und der Drohnenbefliegung sowie die Digitalisierung mittels Interpolation der Höhenlinien. Die aus dem Digitalen Geländemodell (DGM) abgeleiteten Schummerungen erzielen keine ausreichend exakten Genauigkeiten, sodass diese Methode nur bei Vorliegen eines exakteren DGM möglich wäre, was jedoch große Datenmengen verursacht. Die Drohnenbefliegung erzielte keine zufriedenstellenden Ergebnisse, sodass zusätzlich zur Befliegung eine Befahrung der Wege stattgefunden hat, wodurch der Aufwand der Digitalisierung verringert werden kann und somit ein Zeitgewinn einhergeht. Die Digitalisierung in den Höhenlinien ist nur dann vorteilhaft, wenn die direkten Grenzen der Wege gemessen werden ohne die Böschungen zu beachten.

Im Rahmen von Waldflurbereinigungsverfahren in Nordrhein- Westfalen (NRW) zeigen [Heitze, Malzer, Willnes (2016)] und [Helle (2018)] die Möglichkeiten des Einsatzes des flugzeuggestützten Laserscannings (ALS= airborne Laser Scanning) und fahrzeuggestütztem Laserscanning (MLS=mobilen Laser Scanning) auf. Aus dem ALS können Schummerungskarten erstellt werden, die in Verbindung mit dem MLS eine Festsetzung der Sollkoordinaten von Wegen, Gewässern, der Bestimmung von Nutzungsarten und Topographie sowie die Objektbildung für den Flurbereinigungsplan ermöglicht. Die Untersuchungen in NRW führten zu dem Ergebnis, dass MLS und ALS die Genauigkeiten der Bestimmung der Koordinaten unvermarkter Grenzpunkte einhält. Zur Bestimmung vermarkter Grenz- und Gebäudepunkte in der Qualität des Koordinatenkatasters ist das Verfahren jedoch nicht geeignet. Der Einsatz des Laserscannings führt zur Kostenreduzierung und einer Verfahrensbeschleunigung. In NRW wird die lasergestützte Messtechnik bereits standardmäßig angewendet.

Der aktuelle Stand der Forschung zeigt, dass bereits mehrere Ansätze zur Reduzierung des terrestrischen Vermessungsaufwands in der Waldflurbereinigung bestehen, sich jedoch noch keine Methode in der Bearbeitung von Waldflurbereinigungsverfahren in RLP etabliert hat. Da das mobile Laserscanning bereits mehrfach untersucht wurde und in NRW bereits in der Praxis angewendet wird, wird in dieser Bachelorarbeit nicht näher darauf eingegangen. Stattdessen wird untersucht, ob der Einsatz von GNSS und der Einsatz der Photogrammetrie zur Reduzierung des Vermessungsaufwands sinnvoller wären.

### 2.3 Konkrete Forschungsfragen

Daraus lassen sich die folgenden Forschungsfragen ableiten:

- Gibt es Möglichkeiten die terrestrische Vermessung zu reduzieren und durch schnellere, innovativere Verfahren zu ergänzen?
- Sollten die Verfahren nach Ausbau der Wege erneut überflogen werden um die Wege photogrammetrisch auswerten zu können?
- Sollte die photogrammetrische Auswertung von Waldwegen auch dann angewandt werden, wenn immer wieder Lücken vorhanden sind, in denen die Auswertung über das 3D-Stereo Modell nicht funktioniert?
- Ist eine Befliegung als einer der ersten Schritte im Verfahren zum jetzigen Stand der Technik noch sinnvoll?
- Reicht die Vermessung einer Mittellinie und das anschließende Berechnen der Wegränder aus?

### 3 Untersuchungen der vermessungstechnischen Bearbeitung an Praxisbeispielen

Im letzten Kapitel wurde der Stand der Forschung zur Waldflurbereinigung erläutert. Im folgenden Kapitel wird die bisherige vermessungstechnische Bearbeitung der Waldflurbereinigung an Praxisbeispielen aufgezeigt.

In vielen rheinland- pfälzischen Waldgebieten, in denen noch nie oder schon sehr früh eine Flurbereinigung der forstwirtschaftlichen Nutzfläche stattgefunden hat, wird die Waldbewirtschaftung durch Strukturmängel stark behindert. Der Grund dafür ist häufig, dass Unwissenheit über den Verlauf der Grenzen besteht und dass eine kostendeckende Bewirtschaftung der Flächen aufgrund des Zuschnittes und gegebenenfalls geringer Flächengrößen des Flurstücks, der Lage und eventueller Erschließungsmängel nicht oder nur erschwert möglich ist.

Die Grenzunsicherheiten sind dadurch zu begründen, dass der Katasternachweis zum großen Teil aus der Uraufnahme entstammt und dass die Abmarkung der Grenzen meist komplett fehlt. Selbst wenn in Teilbereichen bereits eine Vermessung stattgefunden hat, ist diese oft so ungenau, dass auch dort aufgrund fehlender Abmarkungen keine Sicherheit über die Grenzen besteht. Das führt dazu, dass die Abweichung zwischen dem Katasternachweis und der in der Örtlichkeit vorzufindenden Bewirtschaftung sich häufig sehr stark voneinander unterscheiden. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel des Verfahrens Hinterhausen- Budesheim, bei dem die tatsächliche Nutzung um etwa 70m von den Katastergrenzen abweicht. [Hinz (2012a)]

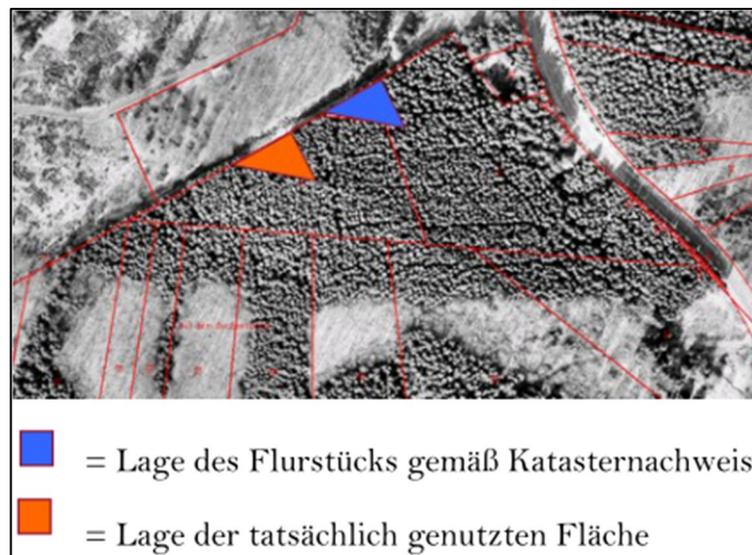


Abbildung 3-1 Unterschied zwischen tatsächlichen Nutzung und dem Katasternachweis (Quelle: König (2018a))

Auch die folgenden beiden Abbildungen zeigen Beispiele aus den Verfahren Hinterhausen-Büdesheim und Lissingen, bei denen der Katasternachweis versagt. Dort haben die Eigentümer ebenso aufgrund unklarer Eigentumsverhältnisse eine andere Fläche bewirtschaftet als die im Katasternachweis vorzufindende.

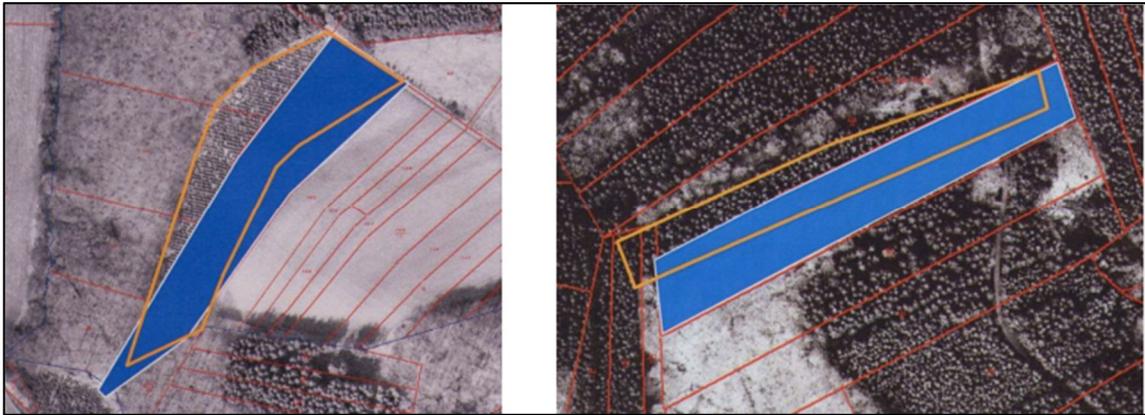


Abbildung 3-2 Versagen des Katasternachweis ( Deformierung) (Quelle: [Hinz (2012b)])

Anhand dieser Beispiele ist erkennbar, dass es den Eigentümern bei mangelnder Kenntnis über die Grenzen nicht gelingt den eigenen Baumaufwuchs zuzuordnen. Bei der Durchführung einer Grenzfeststellung im Bereich des Urkatasters sind die Kosten so hoch, dass die meisten Waldeigentümer auf Grenzfeststellung verzichten und dadurch in Kauf nehmen, dass das eigene Grundstück lageversetzt oder auch gar nicht bewirtschaftet wird.

Eine ordnungsgemäße Bewirtschaftung ist somit nur möglich, wenn gewährleistet werden kann, dass die Flurstücksgrenzen nach neuzeitlichen Methoden vermessen und in der Örtlichkeit kenntlich gemacht wurden.

Im Zuge des Flurbereinigungsverfahrens werden unbekannte Grundstücksgrenzen, Abweichungen zwischen der Örtlichkeit und dem Katasternachweis und fehlende Grenzanzeigen behoben. [Hinz (2012c)]

Die Kosten für Vermessung und Vermarkung gehören dabei zu den Ausführungskosten nach §105 FlurbG und sind von der Teilnehmergeinschaft zu tragen. Durch eine Förderung in Höhe von 70- 95% der zuwendungsfähigen Ausführungskosten entstehen dem einzelnen Teilnehmer nur geringe Kosten im Vergleich zu einer Vermessung außerhalb eines Flurbereinigungsverfahrens.

Bevor das Flurbereinigungsverfahren eingeleitet wird, wird ein Vermessungskonzept aufgestellt. Im Vermessungskonzept werden sämtliche Vermessungsarbeiten, die im Laufe eines Verfahrens und an der Verfahrensgrenze durchgeführt werden, mit dem zuständigen Vermessungs- und Katasteramt (VermKA) abgestimmt und von der Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion (ADD) genehmigt. Das Vermessungskonzept enthält Aussagen über den Zustand des Liegenschaftskatasters. Dabei ist bedeutend wie das Liegenschaftskataster entstanden ist und wie dessen Qualität ist. Außerdem werden die Abmarkung und deren Grad der Erhaltung und die Übereinstimmung zwischen Katasternachweis und Örtlichkeit analysiert und eine Entscheidung darüber getroffen, ob eine Neuvermessung stattfindet oder Fortführungsmessungen

durchgeführt werden. In Waldflurbereinigungsverfahren werden grundsätzlich aufgrund des schlechten Katasternachweises grundsätzlich Neuvermessungen durchgeführt. Im Vermessungskonzept wird außerdem mit dem VermKA abgestimmt wie der Anschluss an den vermessungstechnischen Raumbezug (vtR) erfolgt und wie die Neuvermessung erfolgt. Außerdem werden Aussagen über die Absteckung der neuen Flurstücksgrenzen und zur Berichtigung des Liegenschaftskatasters getroffen. Die Verfahrensgebietsgrenze und deren Herstellung werden ebenfalls im Vermessungskonzept abgestimmt.

Das Zahlen- und Kartenmaterial zur Abgrenzung des Verfahrensgebiets wird von der Vermessungs- Katasterverwaltung (VermKV) übernommen. Die Abgrenzung des Verfahrensgebiets wird so vorgenommen, dass die Kosten zur Herstellung des Verfahrensgebiets möglichst gering sind. Eine Grenzfeststellung und Wiederherstellung der Katastergrenzen verursacht hohe Kosten, sodass versucht wird das Verfahrensgebiet so abzugrenzen, dass möglichst wenige Grenzen bestimmt werden müssen.

Nach ZusVermFlurb Ziffer 4.2.2 kann auf die Bestimmung und Abmarkung der Verfahrensgebietsgrenze verzichtet werden, wenn die Genauigkeit der Grenzpunkte in einer Genauigkeit der Genauigkeitsstufe (GST) 2300 und besser vorliegt oder wenn die Verfahrensgebietsgrenze nicht gleich der Neumessungsgrenze ist. Wenn die Verfahrensgebietsgrenze nicht gleich der Neumessungsgrenze ist, darf zusätzlich keine Abweichung zwischen Örtlichkeit und Kataster stattgefunden haben, muss die Verfahrensgebietsgrenze entlang der Außengrenze von gemeinschaftlichen oder öffentlichen Anlagen verlaufen und „eine ausreichende vermessungstechnische Verknüpfung zwischen Neumessungsgrenze und bestehendem bleibendem Nachweis des Liegenschaftskatasters hergestellt“<sup>5</sup> sein. Das Differenzieren zwischen Verfahrens- und Neumessungsgrenze wird als Methode „Dockweiler“ bezeichnet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit eine einfache Sonderung öffentlicher Flächen durchzuführen, damit auf die Wiederherstellung oder Feststellung mehrerer Grenzen verzichtet werden kann um den Vermessungsaufwand zu reduzieren. Diese Methoden, durch die auf die Bestimmung der Verfahrensgebietsgrenze verzichtet oder der Vermessungsaufwand minimiert werden kann, wurden in der Bachelorarbeit von [Sungen (2018)] eingehend beschrieben.

In allen Bereichen, die nicht auf ZusVermFlurb Ziffer 4.2.2 zutreffen, ist die Verfahrensgebietsgrenze zu bestimmen und abzumarken. Die Zuständigkeit der Bestimmung und Abmarkung richtet sich nach ZusVermFlurb Ziffer 4.2.5 wonach grundsätzlich dem DLR die Bestimmung und Abmarkung der Verfahrensgebietsgrenze obliegt. Gelten die Flurstücksgrenzen jedoch als nicht festgestellt oder bildet ein Gewässer die Verfahrensgebietsgrenze, wird die Bestimmung und Abmarkung vom zuständigen VermKA oder einem Öffentlich bestellten Vermessungsingenieur (ÖbVI) durchgeführt. In der Karte zum Vermessungskonzept ist zu erkennen, wie und durch wen die Verfahrensgebietsgrenze hergestellt wird. In der folgenden Abbildung ist die Karte zum Vermessungskonzept aus dem Verfahren Leidenborn zu sehen. Besonderheit ist dort, dass keine Arbeiten an der nördlichen Verfahrensgebietsgrenze vorgenommen werden müssen, da dort ein anderes Flurbereinigungsverfahren angrenzt.

---

<sup>5</sup> Vgl. ZusVermFlurb 4.2.2 ac)

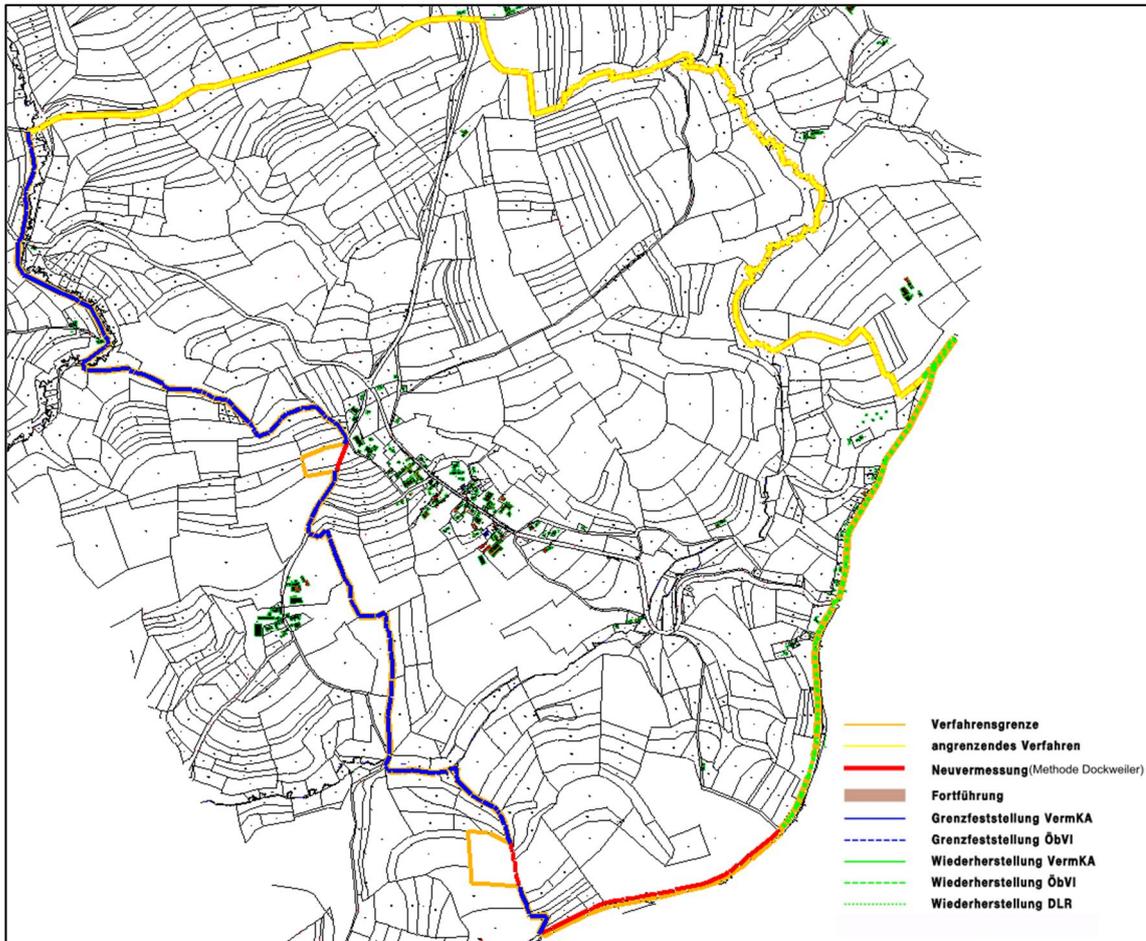


Abbildung 3-3 Vermessungskonzept des Flurbereinungsverfahrens Leidenborn (Quelle: Sun-  
gen (2018a))

Nach §56 FlurbG muss die Abmarkung der Verfahrensgrenze bis spätestens zur Aufstellung des Flurbereinigungsplans erfolgen. Da die Herstellung der Verfahrensgrenze trotz innovativer Maßnahmen zur Reduzierung des Vermessungsaufwands viel Zeit in Anspruch nimmt, wird häufig bereits nach Einleitung des Verfahrens mit diesen Arbeiten begonnen.

Die Abgrenzung des Verfahrengiets sowie alle weiteren vermessungstechnischen Arbeiten werden derzeit überwiegend noch im Programm GRIBS durchgeführt, das das „GRaphische Informations- und Bearbeitungssystem“ bezeichnet. GRIBS wurde speziell für die Bearbeitung von Flurbereinungsverfahren entwickelt und ist auf dem benutzerorientierten Geoinformationssystem DAVID (Digitalisierung, Aufbereitung und Verbesserung inhomogener Daten) des Ingenieurbüro Riemer (ibR) aufgebaut.

Nachdem das Verfahren eingeleitet wurde, findet eine Befliegung des Verfahrengiets statt. Dazu müssen Pass- und Neupunkte signalisiert werden, die zur Georeferenzierung der Befliegung und zur Verdichtung des Punktfeldes im Flurbereinungsverfahren benötigt werden. Die Passpunkte werden dabei so gelegt, dass sie das Neuvermessungsgebiet umgeben, jedoch keine Extrapolation stattfinden muss. Die Punkte werden durch die Passpunktbestimmer mit GNSS bestimmt und zur Erkennbarkeit im Luftbild je nach Untergrund mit weißen Platten

ausgelegt oder weiß gestrichen. Die Punkte werden zur Koordinatenkontrolle mit drei bis vier Sicherungspunkten gesichert. Die Neupunkte dienen der Verdichtung des Festpunktfeldes zu späteren terrestrischen Vermessungsarbeiten im Flurbereinigungsverfahren und werden auf gleiche Weise wie die Passpunkte signalisiert. Eine genaue Beschreibung der Befliegung erfolgt im Kapitel 4.1.

Nach der Georeferenzierung der Luftbilder erfolgt eine topographische Erfassung von planungswichtigen Elementen im Stereo Modell durch die Fachkräfte der TZ teilweise unter direkter Mitwirkung des jeweiligen Bearbeiters des DLR. Die weitere photogrammetrische Auswertung erfolgt durch Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig) im Orthophoto durch den jeweiligen Bearbeiter am eigenen Computer in GRIBS. Dabei werden sichtbare bedingte Grenzen und andere planungswichtige Elemente, die ausreichend erkennbar sind mit PuDig bestimmt. Die Methode von PuDig wird eingehend in Kapitel 4.1 beschrieben.

Da der Ausbau der Wege bisher erst nach der Befliegung stattfindet, ist zu diesem Zeitpunkt keine Auswertung der Wegepunkte möglich.

Nach [Bald (2010a)] ist die schlechte Erschließung neben der Herstellung der Grenzsicherheit oftmals ein Grund für die Durchführung einer Waldflurbereinigung, weshalb es erstrebenswert sei, dass der Wege- und Gewässerplan möglichst schnell aufgestellt und genehmigt bzw. planfestgestellt werde, damit der Ausbau der Wege erfolgen kann. Der Plan nach §41 FlurbG wird vom DLR im Benehmen mit dem jeweiligen Vorstand der Teilnehmergemeinschaft des Verfahrens aufgestellt. Nach der Fertigstellung des Wege- und Gewässerplans mit landespflegerischem Begleitplan wird dieser von der ADD genehmigt oder planfestgestellt. Parallel hierzu erfolgt in der Regel die Aufstellung des Finanzierungsplans durch das DLR und dessen Genehmigung durch die ADD. Erst dann kann mit dem Ausbau der Wege und sonstigen gemeinschaftlichen Anlagen begonnen werden.

Anschließend werden die ausgebauten Wege vermessen. Durch den späten Zeitpunkt der Vermessung wird gewährleistet, dass die tatsächliche Lage des Weges und damit die Wegegrenzen nach dem Ausbau die endgültige Lage erreicht haben. Außerdem werden durch die Aufmessung der Wege nach Ausbau der Arbeitsaufwand und somit sowohl die Ausführungs- als auch die Verfahrenskosten minimiert. Die Messung der Wege im Wald erfolgt terrestrisch. Lediglich in Lichtungen und an Waldrändern wird versucht mittels GNSS weitere Aufnahmepunkte (AP) zu legen, die die terrestrische Vermessung erleichtern und beschleunigen sollen.

Um die Wegeknickepunkte terrestrisch bestimmen zu können, muss das bestehende Festpunktfeld durch Polygonzüge verdichtet werden. Die gemessenen Polygonpunkte werden vermarktet, da sie im weiteren Verlauf des Verfahrens noch benötigt werden. Ist das Punktfeld ausreichend verdichtet, sollte die Aufmessung der Wegeknickepunkte insbesondere über das Polarverfahren vom freien Standpunkt erfolgen.<sup>6</sup> Zu diesem Verfahren werden zur Bestimmung von Koordinaten der GST 2000 mindestens drei Übergeordnete Festpunkte (ÜFP), AP oder temporäre Aufnahmepunkte (tAP) benötigt, mit denen die freie Stationierung durchgeführt werden kann<sup>7</sup> Dabei ist zu beachten, dass der „frei gewählte Standpunkt innerhalb des Bereichs liegt, der durch die äußeren Verbindungslinien zwischen den Anschlußpunkten abgegrenzt wird“(RiLiV

---

<sup>6</sup> Vgl. RiLiV 4.1.1

<sup>7</sup> Vgl. RiLiV 4.

Anlage 3.4 1.1). Ist eine Stationierung vom freien Standpunkt nicht möglich, da nicht genügend Anschlusspunkte vorhanden sind oder weil deren Verteilung im Raum sehr ungünstig ist, ist nach RiLiV Ziffer 4.1.2 das Polarverfahren vom festen Standpunkt ausnahmsweise zulässig. Bei diesem Verfahren sind mindestens zwei Anschlusspunkte erforderlich und die Entfernung zwischen einem Standpunkt und einem von dort bestimmten Neupunkt darf nicht größer sein als die Entfernung vom Standpunkt zu dem am weitesten entfernten Anschlusspunkt.<sup>8</sup> Im Zuge der Vermessung der Wege werden planungswichtige Elemente wie Durchlässe und bedingte Grenzen wie Waldränder bereits mit aufgenommen. Die Vermessung der Wege und bedingten Grenzen dauert je nach Größe des Verfahrens mehrere Monate.

Bei all diesen Messungen wird in der Regel auf eine Abmarkung der Grenzen verzichtet. Die Möglichkeit dazu bietet seit 2000 §16 Abs. 1 des Landesgesetzes über das amtliche Vermessungswesen RLP (LGVerm) der besagt, dass Abmarkungen auf Antrag der Eigentümer unterbleiben oder aus Gründen der Zweckmäßigkeit unterlassen werden können. Da die Herstellung der Grenzsicherheit und damit verbunden das Kenntlichmachen der Flurstücksgrenzen ein zentrales Ziel der Waldflurbereinigung ist, kann der Verzicht auf Abmarkung nach [Hinz (2012d)] nur Grenzpunkte betreffen, die nicht zur Wertschöpfung beitragen. Dementsprechend ist entgegen der Grenzanzeigen der abgehenden Grenzen die Begrenzung der öffentlichen und gemeinschaftlichen Anlagen gegen die Privatgrundstücke im Wegeverlauf unbedeutend. Der Verzicht auf Abmarkung der Wegeknickepunkte wurde bereits durch Schumacher(1998) am Flurbereinigungsverfahren Schönecken getestet. Da zu diesem Zeitpunkt keine Rechtsgrundlage zum Verzicht auf Abmarkung bestand, verhandelte er mit den Teilnehmern den Verzicht der Abmarkung der Wegepunkte. Im Zuge dessen zeigte sich, dass seitens der Teilnehmer eine breite Zustimmung zur Unterlassung der Abmarkung an Wegrändern bestand. Somit reduzierte sich der Aufwand zur Abmarkung um ein Vielfaches. In der folgenden Abbildung sind die tatsächlich abgemarkten Grenzen der Waldflurbereinigung Schönecken erkennbar.

---

<sup>8</sup> Vgl. RiLiV 4.3.3.1

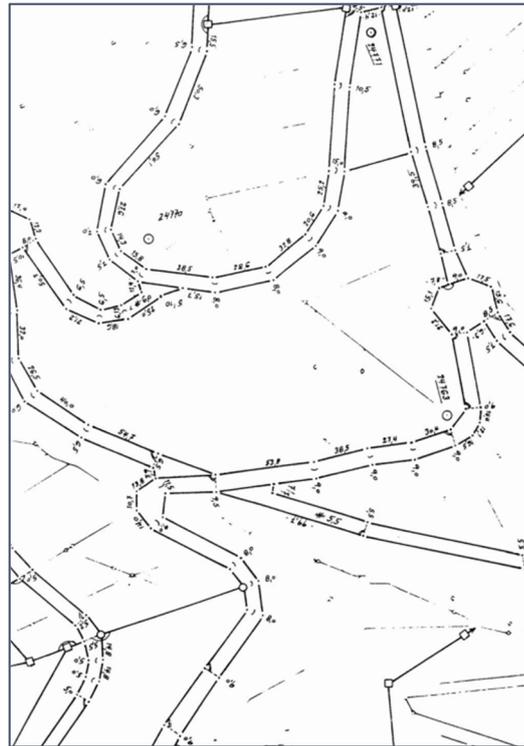


Abbildung 3-4 Darstellung der tatsächlich vermarkten Grenzen im Verfahren  
Schönecken (Quelle: Schumacher (1998))

Die Trennung zwischen gemeinschaftlichen oder öffentlichen Eigentum ist somit im Verlauf der Wege nicht durch Grenzsteine markiert, sondern wird durch Böschungskanten und Wegränder in der Örtlichkeit gekennzeichnet. Dadurch besteht bei der Absteckung und Vermessung der Wege nicht das Problem, dass bei der Absteckung darauf geachtet werden muss, dass an diesen Stellen ein Grenzstein angebracht werden kann ohne dass er bei der Nutzung der Wege stört oder direkt wieder wegfällt.

Die Absteckung und Aufmessung der Wegepunkte erfolgt unter dem Verfahren von „PuDig in der Örtlichkeit“, bei dem die Soll-Koordinaten der Wegegrenzen festgelegt und aufgemessen werden. Besonderheit dieses Verfahrens zur Punktfestlegung ist, dass alle Punkte nur einmal aufgemessen werden und dadurch die gleiche Lagezuverlässigkeit haben, als wären sie am Computer durch PuDig im Orthophoto bestimmt worden.

Unvermarktete Grenzpunkte werden nur koordinatenmäßig bestimmt und nicht in der Örtlichkeit mit Grenzmarken markiert. Dadurch muss bei der Genauigkeit der Bestimmung der Punkte lediglich gewährleistet sein, dass der Grenzverlauf die Örtlichkeit repräsentiert. Da jedoch bei der Absteckung und Vermessung von land- und forstwirtschaftlichen Grenzen zur Definition des Grenzverlaufs lediglich Wege- und Gewässergrenzen, Nutzungsarten und Topographie vorhanden sind, die keine scharf definierten Objektlinien bilden und vielfach von der subjektiven Wahrnehmung des jeweiligen Bearbeiters abhängen, ist nach [Heitze, Malzer, Willmes (2016a)] eine Einschätzung mit einer Toleranz von 0,5 m ausreichend, in dem die Grenze örtlich definiert werden kann. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Toleranzbereich bei der Festlegung der Grundstücksgrenzen entlang von Böschungen und Uferlinien.

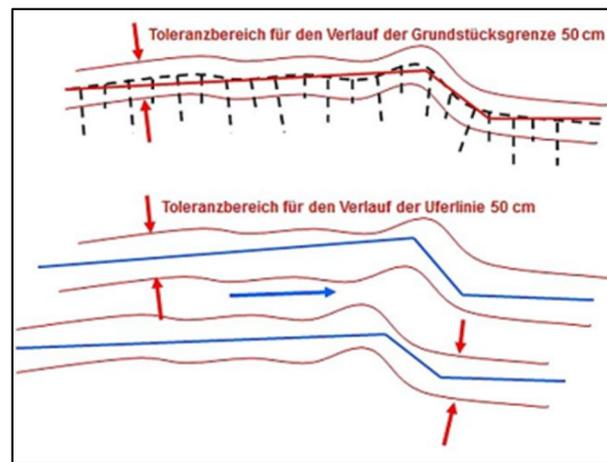


Abbildung 3-5 Toleranzbereich des Grenzverlaufs (Quelle: Heitze, Malzer, Willmes (2016a))

Ob die Wege direkt am Wegrand oder an der Böschungsober oder -unterkante begrenzt werden ist eine rechtliche Frage, bei der es darum geht in wessen Eigentum die Böschungen sein sollten und wer dementsprechend verpflichtet ist diese zu unterhalten.

Bei der Begrenzung der Wege direkt am Fahrbahnrand ohne Beachtung der seitlich liegenden Böschungen wäre der öffentliche Eigentümer von der Unterhaltung der Böschungen befreit und dies wäre Sache der Eigentümer, in deren Eigentum die Böschungen liegen. Normalerweise ist jedoch der oberhalb liegende Eigentümer dazu verpflichtet, dass sein Eigentum dort verbleibt wo es liegt und nicht ins Rutschen gerät und der unterhalb liegende Eigentümer davon beeinträchtigt wird. Bei diesem Ansatz wäre die Wegegrenze so zu legen, dass die obere Böschung nicht zum Weg gehört, die unter jedoch schon. Der oberhalb liegende Eigentümer wäre dadurch durch die Unterhaltungspflicht der Böschung belastet, von der er jedoch keinen Nutzen hat. Da die Böschung zu keiner Wertklasse zugeteilt werden kann, müsste der Eigentümer die Böschungsfäche zu seiner wertgleichen Abfindung hinzubekommen, wodurch der Landabzug nach § 47 FlurbG durch die Böschungen genauso erhöht würde, wie wenn die Böschung zum öffentlichen Träger gehören würde. Die Wege dienen der Erschließung sehr vieler Waldeigentümer, jedoch würden nur die Eigentümer von der Instandhaltung der Wegeböschung belastet, die direkt am Weg liegen. Alle anderen Eigentümer hätten dadurch einen Vorteil gegenüber den direkt oberhalb des Weges liegenden Eigentümern. Außerdem würde die Gemeinde dadurch die Verfügungsgewalt über die Böschung, die zweifelsohne zur Sicherung der dauerhaften Standfestigkeit des Weges beiträgt, verlieren.

Da die Wege im Normalfall in den Hang hineingebaut werden, befindet sich auf dem unterhalb liegenden Grundstück keine direkt erkennbare Böschung, sondern das Grundstück verläuft in allen Bereichen ähnlich steil. In diesem Fall kann der unterhalb des Weges liegende Eigentümer das eigene Grundstück ohne Einschränkungen nutzen. Dementsprechend ist es sinnvoll, dass die untere Wegegrenze entlang der Bruchkante zwischen horizontalem Weg und unterhalb liegendem schräg verlaufenden Grundstück verläuft. Dadurch ist gewährleistet, dass die Gemeinde die Unterhaltung der Wege uneingeschränkt wahrnehmen kann und ohne von der Zustimmung der angrenzenden Eigentümer massiv abhängig zu sein. Insgesamt tritt die Fra-

ge bzw. die Unsicherheiten der Abgrenzung der Wege jedoch vermehrt dort auf, wo der Wegkörper (Fahrbahn, Rabatte und Böschungen) auf Grund starken Quergefälles sehr breit ist. Dort ist fraglich, ob die entstehende Gesamtbreite des Weges wegen starkem Quergefälle für die Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Weges im Eigentum der Gemeinde liegen muss oder wo eine Grenze gelegt werden kann, durch die keine zukünftige Beeinträchtigung zu erwarten ist. Daher sollten Böschungsteile, die z.B. nicht für die Sicherung der dauerhaften Standfestigkeit und die Aufrechterhaltung der Wegfunktion dienen, an die angrenzenden Privatflächen abgegeben werden.

Diese Ansicht wird jedoch nicht durch jeden Bearbeiter der unterschiedlichen Verfahren vertreten, sodass die Abgrenzung der Wege immer vom Bearbeiter abhängt und sich dadurch von anderen Verfahren unterscheidet.

Nachdem alle Wege und bedingten Grenzen gemessen bzw. digitalisiert sind, werden Zuteilungsblöcke gebildet, aus deren Fläche die Verteilungsmasse im neuen Bestand berechnet wird. Aus der Werteinheitendifferenz zwischen Verteilungsmasse alter Bestand und neuer Bestand, zuzüglich der benötigten Werteinheiten für Landespflegeanlagen und einer eventuell mäßigen Erhöhung für unvorhergesehene Zwecke, für Missformen und zum Ausgleich ergibt sich der Landabzug nach § 47 FlurbG. Gemäß § 40 FlurbG kann dieser Landabzug unter bestimmten Voraussetzungen für die Umsetzung öffentlicher Maßnahmen geringfügig erhöht werden.

Steht der Landabzug fest, so kann der vorläufige Abfindungsanspruch der einzelnen Teilnehmer im neuen Bestand in WE berechnet werden, der im Planwunschtermin nach §57 FlurbG mit den Teilnehmern erörtert werden kann und zur Zuteilungsberechnung benötigt wird.

Nachdem der Planwunschtermin nach §57 FlurbG stattgefunden hat, sind die Abfindungswünsche der Beteiligten sowie die Pachtverhältnisse im Verfahrensgebiet bekannt. An dieser Stelle kann auf Grundlage des Planwunschtermins und der festgestellten Ergebnisse der Wertermittlung nach §§27-32 FlurbG mit der Berechnung der Zuteilung begonnen werden.

Die Erstellung des Zuteilungsentwurfs obliegt - anders als bei der Erstellung des Wege- und Gewässerplans - ausschließlich der Flurbereinigungsbehörde. Die Zuteilung ist Grundlage für die Erstellung des späteren Flurbereinigungsplans, der das wichtigste Werk in einem Flurbereinigungsverfahren ist. Bei der Erstellung des Zuteilungsentwurfs sind unter anderem die Abfindungsgrundsätze nach §§44-55 FlurbG zu beachten. Demnach müssen die Teilnehmer nach Berücksichtigung der nach § 47 FlurbG vorgenommenen Abzüge (Landabzug) mit Land von gleichem Wert abgefunden und die betriebswirtschaftlichen Verhältnisse aller Teilnehmer gegeneinander abgewägt werden. Außerdem soll die Landabfindung eines Teilnehmers in der Nutzungsart, Beschaffenheit, Bodengüte und Entfernung vom Wirtschaftshofe oder der Ortslage seinem Alteigentum entsprechen, sofern es mit der Zusammenlegung nach neuzeitlichen betriebswirtschaftlichen Erkenntnissen vereinbar ist. Das heißt unter anderem dass z.B. der Anspruch eines Teilnehmers auf Grünland, Acker oder forstwirtschaftliche Nutzfläche in der Neuzuteilung abgebildet werden muss. Führt die Art der Landabfindung dazu, dass der Betrieb sich komplett neu strukturieren muss, bedarf es der Zustimmung des Teilnehmers. Des Weiteren sind die Landabfindungen in möglichst großen Grundstücken auszuweisen. Dabei sollte ebenfalls darauf geachtet werden, dass die Zuteilung so erfolgt, dass die Bildung rationaler Bewirtschaftungseinheiten durch Verpachtung ermöglicht wird. Aufgrund der vorherr-

schenden Erschließungspflicht der Flurbereinigungsbehörde müssen alle Grundstücke durch Wege zugänglich gemacht werden.

Die Zuteilung im geneigterem Wald erfolgt generell in Richtung der Falllinie. Die Größe und Form der Flurstücke im neuen Bestand ist dabei stark von der Topographie des Verfahrensgebiets abhängig. Heute erfolgt bereits in vielen Bereichen die Waldbewirtschaftung mit Volllerntemaschinen wie dem Harvester. Bei der Wegenetz und Zuteilungsplanung im Wald ist jedoch differenziert zu betrachten und zu hinterfragen welche Bewirtschaftungsmethoden welche Anforderungen an Wegeerschließung und Grundstückszuschnitt stellen. Vor allem im Privatwald erfolgt die Holzernte vielfach mit Seilwinde. Holzrückearbeiten in Waldflächen mit einem Gefälle von bis zu 15-20 % können bei gleichmäßiger Topographie mit dem Traktor im Direktzugverfahren durchgeführt werden. Sollte bei steileren Lagen die Seilwinde zum Einsatz kommen ist darauf zu achten, dass die dabei eingesetzten Drahtseile auf Grund ihres Gewichtes maximal ca. 30 m bergauf und ca. 70 m bergab gezogen werden können. Daraus ergeben sich zwangsläufig Planungsgrundsätze. Insofern hat sich in der Praxis z. B. im steilen Gelände ein Abstand hangparalleler Waldwege von ca. 100 m ergeben.

Die technische Umsetzung der Erstellung der Zuteilungskarten erfolgt wie die sonstige vermessungstechnische Bearbeitung ebenso in GRIBS. Die in GRIBS durchzuführenden Zuteilungsberechnungen können auf verschiedene Arten erfolgen:

- Zuteilung über Wert
- Zuteilung über Fläche

Bei der Zuteilung über Wert wird die Summe an Werteinheiten (WE) angegeben, die in diesem Zuteilungsblock nach den im folgenden beschriebenen Zuteilungsrichtungen eingerechnet wird. Andernfalls kann ebenso eine Fläche in m<sup>2</sup> eingegeben werden, die in diesem Block zugeteilt werden sollen. Voraussetzung für beide Arten der Zuteilungsberechnung ist jedoch, dass der Teilnehmer mindestens so viele WE im alten Bestand besitzt, wie er im ersten Fall in WE und im zweiten Fall nach Umrechnung der zugeeilten Fläche in WE zugeteilt bekommt.

Nach Auswahl der Zuteilungsart wird die Zuteilungsrichtung ausgewählt. Dabei gibt es die Auswahl zwischen:

- Parallel zur Blockbasis
- Parallel zur Blockbasis (Abstand)
- Verschwenkt zur Blockbasis
- Durch Punkt auf dem Blockumring

Bei allen Methoden muss zunächst eine Blockbasis festgesetzt werden, von der die Zuteilung erfolgt.

Die Methode „parallel zur Blockbasis“ wird umgesetzt, in dem die Blockbasis - je nach Zuteilungsart - um einen Wert oder eine Fläche parallel verschoben wird. Wird ein Wert für den parallelen Abstand angegeben, erfolgt ein paralleles Versetzen der Blockbasis um den vordefinierten Abstand. Soll die Zuteilung nicht parallel zur Blockbasis erfolgen, kann die Zuteilungsrichtung um einen Winkel verschwenkt zur Blockbasis oder durch einen Punkt auf dem Blockumring geändert werden

Ist die Zuteilungsplanung abgeschlossen, womit die Landabfindung eines jeden Teilnehmers vorläufig feststeht, können die Eigentümer nach § 65 FlurbG in den Besitz ihrer neuen Flächen vorläufig eingewiesen werden. Die vorläufige Besitzeinweisung dient dazu, die Beteiligten schon vor der Vorlage des Flurbereinigungsplanes aus den Vorteilen der Flurbereinigung schöpfen zu lassen. Da die Anfertigung und Fertigstellung der Unterlagen für die Planvorlage sehr aufwendig und zeitraubend ist, kann mit der vorl. Besitzeinweisung die Vorteilsnahme der Flurbereinigungsergebnisse vorgezogen werden. Die vorläufige Besitzeinweisung ist also nicht als Standard zu betrachten, sondern wird dann angewendet, wenn die Vorlage des Flurbereinigungsplans länger dauere und die Flurbereinigungsvorteile hinauszögern würde. Da dies in den Verfahren des DLR Eifel meist der Fall ist, wird vom Gebrauch der vorläufigen Besitzeinweisung ausgegangen.

Zur Durchführung der vorläufigen Besitzeinweisung müssen die Grenzen im Vorfeld in die Örtlichkeit übertragen worden sein und unter Anderem endgültige Nachweise für Fläche und Wert der neuen Grundstücke vorliegen. Nach gültiger Rechtsprechung genügt dabei die Kennzeichnung der Grenzpunkte durch Holzpfähle.<sup>9</sup> Dieses Verfahren soll gemäß RiVerm Ziffer 6.1 bei der Absteckung der neuen Grundstücke in der Regel angewendet werden.

In der Feldlage wird die Kennzeichnung der Grenzpunkte durch Holzpflöcken flächendeckend angewendet, damit Änderungen im Zuge des Flurbereinigungsplans einfacher in der Örtlichkeit geändert werden können. Die Grenzen werden dort zum größten Teil mit satellitengestützter Messtechnik gemessen, sodass der Vermessungsaufwand nur gering ist.

In der forstwirtschaftlichen Nutzfläche (fN) findet ebenso in der Regel eine Kennzeichnung mit Holzpflöcken statt. Ausnahmen davon werden in Fällen gemacht, in denen von einer klaren Eigentumsstruktur z.B. auf Grund markanter Bestandsgrenzen ausgegangen werden kann, da sich dieses Vorgehensweise zur Reduzierung der Vermessung und damit einhergehenden Effizienzsteigerung in der Flurbereinigung bewährt hat. Grund dafür ist, dass der Vermessungsaufwand zur Übertragung der Grenzen in die Örtlichkeit erheblich höher ist als in der Feldlage, da dort lediglich die terrestrische Vermessung möglich ist. Im Zuge der Vermessung der Wege wurde mittels Polygonzügen das Festpunktfeld im Wald verdichtet, sodass diese Punkte dazu genutzt werden können die Grenzen in der Örtlichkeit abzustecken. Da der Vermessungsaufwand erheblich höher ist als in der Feldlage, wird auf eine vorläufige Verpfählung der Grenzen verzichtet und die Grenzen werden sofort mit Grenzsteinen vermarktet. Dadurch müssten bei Änderungen im Flurbereinigungsplan die Grenzsteine herausgenommen und neu gesetzt werden. Da dies jedoch nur relativ selten notwendig ist, wird durch direkte Vermarkung der Grenzen der Vermessungsaufwand reduziert.

---

<sup>9</sup> [Bottler (2002)]

Die Vermarkung der abgehenden Flurstücksgrenzen erfolgt in der Regel mit verschiedenen Arten moderner Vermarkungssysteme. Die folgenden Abbildungen zeigen die zwei am häufigsten genutzten Arten von Grenzsteinen.

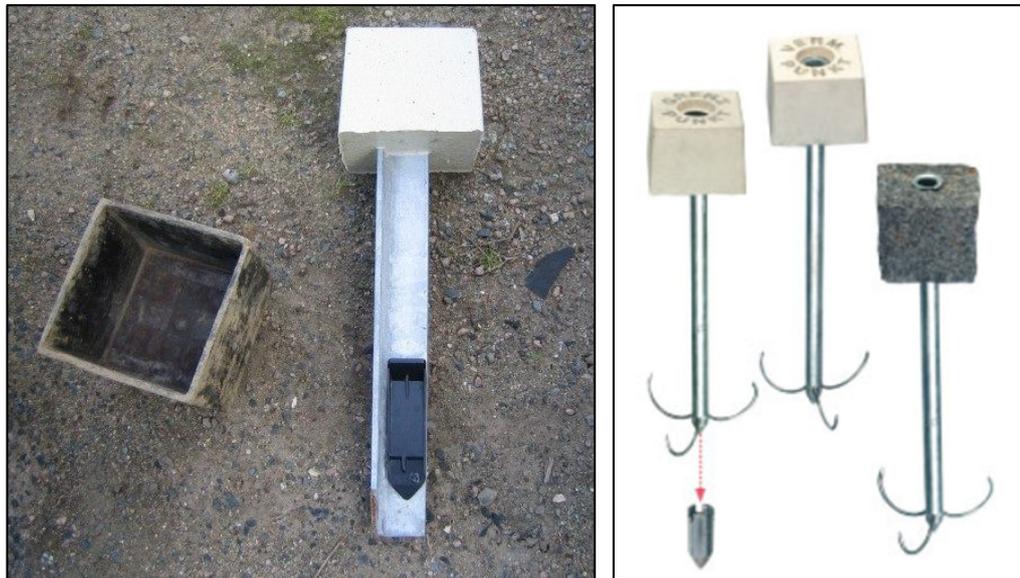


Abbildung 3-6 verschiedene Arten von Grenzsteinen (Quelle: links: [Primacom (2007)]; rechts: [Goecke (2018)])

Der in der linken Abbildung erkennbare Grenzstein ist fest mit einer eckigen Eisenstange verbunden, die an den Seiten Widerhaken hat, die ein Herausziehen der Grenzsteine verhindern sollen. Eingeschlagen wird der Grenzstein mit einer Gummikappe, die ebenfalls in der Abbildung zu sehen ist.

Die Art Grenzsteine, die in der rechten Abbildung zu sehen sind, werden als „Phenosteine“ bezeichnet und sind durch einen Stein gekennzeichnet, durch den ein Eisenrohr geschoben wird. Das Eisenrohr wird mit einer speziellen Eisenstange eingeschlagen. Nach dem Einschlagen werden die auf der Abbildung erkennbaren „Krähenfüße“ ausgetrieben, die den Grenzstein stabil im Boden halten sollen.

Beide Arten der Grenzsteine haben Vor- und Nachteile bezüglich der Handhabbarkeit. Es gibt keine vergleichbaren Erfahrungswerte darüber welche Grenzsteine länger halten, sodass die verschiedenen Bearbeiter ihre eigenen Präferenzen bezüglich der Wahl der Art der Grenzsteine haben.

Die Bedeutung der Abmarkung der Flurstücksgrenzen im Wald zeigte [Hinz (2012a)] im Zuge ihrer Untersuchungen, da einige Eigentümer der Verfahren Lissingen und Hinterhausen-Büdesheim die Grenzsteine durch zusätzliche eigene Markierungen ergänzten. So konnten die Eigentümer sicherstellen, dass ihre Grenze dauerhaft erkennbar bleibt. (Abb. 3-4 bis 3-6)



Abbildung 3-8 zusätzliche Kennzeichnung der abgehenden Eigentumsgrenze durch den Waldeigentümer mit langem Eisenrohr im Waldflurbereinungsverfahren Hinterhausen- Budesheim (Quelle: [Hinz (2012e)])



Abbildung 3-9 zusätzliche Kennzeichnung einer Eigentumsgrenze mit Plastikschauch durch den Waldeigentümer im Waldflurbereinungsverfahren Lissingen (Quelle: [Hinz (2012e)])



Abbildung 3-7 zusätzliche Kennzeichnung einer Eigentumsgrenze mit Plastikrohr und eigener Nummerierung des Flurstücks durch den Waldeigentümer im Waldflurbereinungsverfahren Lissingen (Quelle: [Hinz (2012e)])

Die zusätzliche Markierung der Eigentumsgrenze durch den Waldeigentümer zeigt die Bedeutung der Abmarkungen auf. Ohne die Vermarkung der Flurstücksgrenzen kann keine Grenzsicherheit bestehen, sodass der Wert der Flurstücke erheblich beeinträchtigt würde. Die Abmarkung stellt die Grenzsicherheit her. Dadurch zeigt sich auch der Wert der Vermessung in der Waldflurbereinigung, denn ohne eine ordnungsgemäße Vermessung, die die Anforderungen an die Genauigkeit von Liegenschaftsvermessungen erfüllt, können keine Flurstücksgrenzen abgemarkt werden.

Im Regelfall ca. ein Jahr nach der Besitzeinweisung erfolgt die Vorlage des Flurbereinigungsplans nach §§ 56- 60 FlurbG. Ergeben sich im Zuge der Bearbeitung der Widersprüche zum Flurbereinigungsplan Änderungen, sind diese in der Örtlichkeit durch Vermessung vorzunehmen.

Mit der Ausführungsanordnung nach § 61 FlurbG bzw. der vorzeitigen Ausführungsanordnung nach § 63 FlurbG tritt der neue Rechtszustand an die Stelle des alten. Mit der Unanfechtbarkeit des Flurbereinigungsplanes sind in der Regel alle Änderungen bearbeitet, sind die vermessungstechnischen Arbeiten in einem Waldflurbereinigungsverfahren abgeschlossen.

Insgesamt umfasst die vermessungstechnische Bearbeitung nach [Thiemann (2013)] einen Anteil von 22 % der Gesamtkosten in einem Waldflurbereinigungsverfahren. Die Vermessung und Vermarkung macht somit einen der größten Anteile der Kosten in einem Waldflurbereinigungsverfahren aus.

## 4 Innovative Maßnahmen

Das vorangegangene Kapitel beschäftigte sich mit der bisherigen vermessungstechnischen Bearbeitung der Waldflurbereinigung an Praxisbeispielen. Das folgende Kapitel beinhaltet die Methodik innovativer Maßnahmen, die teilweise in der Vermessung von Flurbereinigungsverfahren bereits eingesetzt werden und Innovationen, die in Zukunft eingesetzt werden könnten.

### 4.1 Photogrammetrisch

Der Einsatz der Photogrammetrie wurde in Rheinland-Pfalz im Jahre 1954 erstmals im Flurbereinigungsverfahren Bergen an der Nahe erfolgreich getestet und danach als wirtschaftlichste Standardvermessungsmethode eingesetzt. Seitdem wurde die Photogrammetrie mit dem jeweiligen Stand der Technik fortentwickelt und wird von [Durben(1996)] das erste Mal als PuDig beschrieben.<sup>10</sup> Bei PuDig werden auf Grundlage des Planes nach §41 FlurG die Soll-Koordinaten der Wege- und Gewässergrenzen sowie der neuen Flurstücksgrenzen, in der Regel ohne vorherige Abmarkung, im Gelände bestimmt. Als Soll-Koordinaten werden Koordinaten bezeichnet, die in ihrer jeweiligen Solllage bestimmt werden. Voraussetzung für den Einsatz von PuDig ist, dass ein verdichtetes, genaues und homogenes Vermessungspunktfeld vorliegt bzw. geschaffen wird. Die Bestimmung der Sollkoordinaten durch Digitalisierung kann in Orthophotos, im Stereomodell, in Plänen Dritter und in der Örtlichkeit erfolgen. Da die Anwendung der Photogrammetrischen Vermessungsverfahren nach RiLiV Ziffer 4.6 nur im Einvernehmen mit dem Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation (LVermGeo) zulässig ist, wird die Zulässigkeit der Anwendung im Vermessungskonzept abgestimmt. Die folgenden Abschnitte handeln von der Durchführung der Befliegung des Verfahrensgebiets und der Methodik von PuDig im Orthophoto und im Stereomodell.

#### 4.1.1 Befliegung

Im Flurbereinigungsverfahren wird eine Befliegung durchgeführt um aktuelle, hochaufgelöste Luftbildkarten und koordinierte Punkte im Flurbereinigungsgebiet zu erhalten. Vor der Befliegung findet eine Signalisierung der Aufnahmepunkte statt. Dabei werden ausreichend Aufnahmepunkte vermarkt, mit drei bis vier Sicherungspunkten als Koordinatenkontrolle gesichert und anschließend mit weißen Platten oder mit Farbe signalisiert, damit die Punkte beim Bildflug sichtbar sind. Ein Teil der signalisierten Punkte muss durch eine SAPOS-HEPS Messung an den vermessungstechnischen Raumbezug angeschlossen sein, da diese Punkte als Passpunkte dienen. Sie umgeben das Neuvermessungsgebiet und werden zur Aerotriangulation der Luftbilder benötigt. Außerdem werden ausreichend Aufnahmepunkte signalisiert, damit bei der späteren terrestrischen Aufnahme ausreichend Festpunkte vorhanden sind. Die Verteilung der Aufnahmepunkte sollte so erfolgen, dass möglichst in allen Bereichen, in denen später voraussichtlich eine terrestrische Messung durchgeführt werden muss, genügend Festpunkte

---

<sup>10</sup> [Durben (2014)]

vorhanden sind. Dabei ist die RiLiV Ziffer 4.4.1 zu beachten, wonach ein Polygonzug nicht mehr als drei Brechpunkte haben soll.<sup>11</sup> Damit die signalisierten Aufnahmepunkte im Wald sichtbar sind, werden die Bildflüge- anders als bei der Vermessungs- und Katasterverwaltung- im Frühjahr durchgeführt, damit keine Belaubung vorhanden ist und so die Bodensichtbarkeit auch in vielen Waldbereichen gegeben ist. In der folgenden Abbildung ist die Erkennbarkeit einer innerhalb eines Waldgebiets liegenden Signalisierung zu sehen.

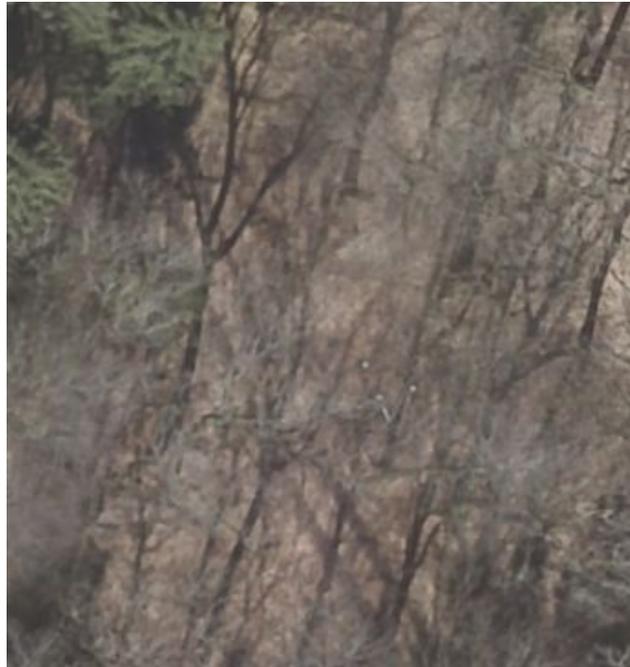


Abbildung 4-1 Erkennbarkeit eines Signalisierungspunktes im Wald

#### 4.1.2 PuDig im Orthophoto

Nach Definition des [LVerGeo (2016)] sind digitale Orthophotos (DOP) verzerrungsfreie und maßstabstreu fotografische Abbildungen der Erdoberfläche. Sie werden aus orientierten digitalen Luftbildern und dem Digitalen Geländemodell (DGM) abgeleitet. Bei Luftbildern kommt es durch die Zentralprojektion der Kamera zu geometrischen Verzerrungen, die vor allem durch das Geländere relief verursacht werden. Dadurch hat das Luftbild keinen einheitlichen Maßstab, wodurch keine korrekten Distanzen bestimmt werden können. Durch Entzerrung der Luftbilder mit Hilfe des digitalen Geländemodells wird ein einheitlicher Maßstab erreicht. Die folgende Abbildung stellt die Lageverschiebung der Punkte a und b aufgrund der Topographie dar. Durch Entzerrung des Luftbildes mit Hilfe des DGM werden die lagerichtigen Punkte a' und b' abgeleitet.

---

<sup>11</sup> [Bald (2010b)]

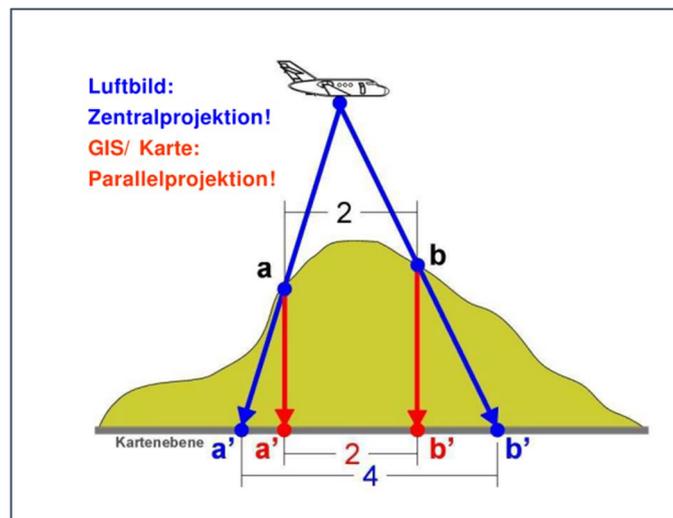


Abbildung 4-2 Entzerrung eines Luftbilds (Quelle: Schlüter (2017a))

Die Orthophotos haben nach [Durben (2014)] zum jetzigen Zeitpunkt eine Bodenauflösung von 5-7 cm und eine Lagegenauigkeit bei zuverlässigem Höhenmodell von 1-2 dm. Die DLR können die 2-D-DOP in ihr Geoinformationssystem (GIS) einspielen. Die gute Auflösung der DOP bewirkt, dass eine Vergrößerung der DOP bis zu einem Maßstab von 1:100 möglich ist. Die Sollkoordinaten der zu bestimmenden Neupunkte können im großen Maßstab über PuDig im GIS-System in Katastergenauigkeit bestimmt werden.

#### 4.1.3 PuDig im Stereomodell

Im 2-D-Orthophoto ist es insbesondere in schwierigen topographischen Lagen nicht möglich Sollkoordinaten hinreichend genau zu bestimmen. Beispiele dafür sind Böschungskanten, Waldränder und schwer zugängliche Bereiche. In diesen Fällen ist eine Punktfestlegung in einer 3-D-Visualisierung im Stereomodell möglich. Ein Stereomodell wird aus zwei benachbarten Bildern eines Flugstreifens oder eines angrenzenden Flugstreifens gebildet. Durch die notwendige Längs- und Querüberdeckung werden in den benachbarten Bildern gleiche Bildbereiche dargestellt. Nach [Linder (2018)] beschreibt die stereoskopische Auswertung „die Möglichkeit, für jeden in beiden Bildern vorkommenden Objektpunkt dessen dreidimensionalen Koordinaten (x,y,z) bestimmen zu können.“ Sind die benachbarten Bilder passgenau überlagert, entsteht bei Betrachtung durch eine Rot-Cyan-Brille ein räumlicher Eindruck. Zur Überlagerung der Bildpaare ist ein spezieller 3D-Stereo-Bildschirm notwendig. In der nachfolgenden Abbildung ist die Funktionsweise des 3D-Stereo-Bildschirms zu erkennen. In beiden Bildschirmen wird jeweils ein Bild dargestellt, das Überdeckungen mit dem im anderen Bildschirm erscheinenden Bild aufweist. Durch einen zwischen den Bildschirmen liegenden Spiegel werden beide Bilder auf den Betrachter projiziert.

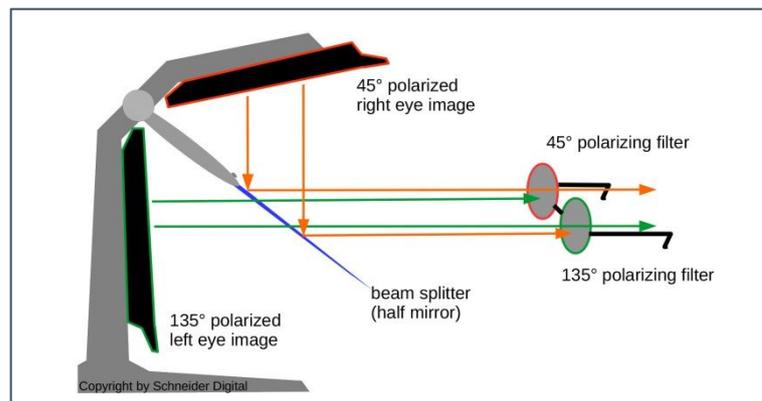


Abbildung 4-3 Funktionsweise des Stereomodells (Quelle: <https://www.3d-pluraview.com/wp-content/uploads/2018/06/schneider-digital-3d-pluraview-beamsplitter-technologie.jpg>)

Mit einer speziellen 3D-Maus kann im Bildschirm navigiert werden und Sollkoordinaten durch PuDig in der richtigen Höhe festgelegt werden. Durch die 3D-Visualisierung sind Bruchkanten genau zu erkennen und können mit PuDig festgelegt werden. In schlecht einsehbaren Bereich besteht die Möglichkeit das Stereomodell zu wechseln und dadurch eine bessere Einsicht in den Bereich zu erhalten. Eine höhere Längs- und Querüberdeckung und die Kreuzbefliegung führen dazu, dass der Objektbereich in mehreren Bildern zu sehen ist, sodass zwischen mehreren Stereomodellen gewechselt werden kann. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass ein Bereich noch besser einsehbar ist.

## 4.2 GNSS

Die Abkürzung des englischen Begriffs „Global Navigation Satellite System“ (GNSS) ist der Oberbegriff für ein System zur Positionsbestimmung durch den Empfang von Satellitensignalen. Es gibt verschiedene GNSS- Systeme, die von verschiedenen Ländern betrieben werden und einzeln oder in Verbindung mit Systemen anderer Länder global genutzt werden können. Das bekannteste System ist das NAVSTAR GPS (Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System), dessen Abkürzung GPS häufig als Synonym für GNSS genutzt wird. Dieses System wurde vom amerikanischen Militär entwickelt und wird auch von diesem kontrolliert. Ein weiteres bekanntes System ist das vom russischen Militär entwickelte GLONASS (Global Navigation Satellite System). Im Aufbau befindet sich das System GALILEO, das in gemeinsamer Initiative der Europäischen Union (EU) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) entwickelt wird und – anders als GPS und GLONASS- unter ziviler Kontrolle steht. Bis zum Jahr 2020 soll der Endausbau von GALILEO mit 30 Satelliten vollzogen sein.

Die Satelliten aller Systeme senden drei Typen von Signalen aus, die bei der Satellitenmessung genutzt werden: Datensignale, die die Bahndaten, den Aussendezeitpunkt und die allgemeinen Systemdaten des Satelliten beinhalten, Trägerwellen und Codesignale<sup>12</sup>.

Mit GNSS- Systemen können absolute und relative Positionsbestimmungen durchgeführt werden. Bei der absoluten Positionsbestimmung findet eine reine Codemessung statt. Bei der Codemessung wird die Signallaufzeit des Codes mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle multipliziert, sodass die Distanz zwischen Satellit und Empfänger bestimmt wird. Die Signallaufzeit des Codes wird durch die Differenz des Aussendezeitpunkts des Codes am Satellit und der Ankunftszeit am Empfänger gemessen. Da die Empfänger- und Satellitenuhren nie komplett synchron laufen, wird die Distanz proportional zur Uhrdifferenz verfälscht, sodass sie „Pseudodistanz“ genannt wird. Durch den systematischen Uhrenfehler und die drei Unbekannten Koordinaten X; Y; Z werden zur Positionsbestimmung vier Satelliten benötigt, mit denen die Position des Empfängers durch einen räumlichen Bogenschnitt bestimmt wird. Bei der relativen Positionsbestimmung werden Trägerphasen beobachtet, bei denen nur das Phasenreststück bekannt ist. Die zur Entfernungsmessung notwendige Anzahl der ganzen Wellenlängen muss durch einen Algorithmus bestimmt werden. Die relative Positionsbestimmung wird – anders als bei der absoluten Positionsbestimmung- mit zwei simultan arbeitenden Empfängern durchgeführt, die in der gleichen Zeit, der gleichen Frequenz arbeiten und die gleichen Satelliten beobachten. Es werden nicht direkt die Koordinaten bestimmt, sondern die Basislinie zwischen den beiden Empfängern. Eine Basislinie ist der Vektor der Koordinatendifferenzen  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  und  $\Delta Z$  zwischen beiden Empfängern. Um Koordinaten zu erhalten ist es daher notwendig, dass die Koordinaten einer Station bekannt sind. Durch die Nutzung zweier Empfänger werden die Fehler gleicher Größenordnung durch Differenzbildungen auf beiden Stationen eliminiert.

Bei der Durchführung einer relativen Positionsbestimmung bleibt einer der beiden Empfänger dauerhaft auf einem Punkt stehen und wird als Referenzstation bezeichnet. Die beabsichtigten Messungen werden mit dem zweiten Empfänger durchgeführt, der als Rover bezeichnet wird. Bei der Trägerphasenmessung können in Echtzeit Genauigkeiten im Zentimeterbereich erreicht werden.

Bei der absoluten Positionsbestimmung kann eine Genauigkeit von maximal 3 m (<http://www.sapos-bw.de/messverfahren.php>) erreicht werden. Die Genauigkeit kann nur dann gesteigert werden, wenn wirkende Störeinflüsse reduziert bzw. eliminiert werden können. Daher wird in der Vermessung auch beim Codemessungsverfahren fast ausschließlich das relative Messverfahren eingesetzt, wodurch in der Codephasenmessung Genauigkeiten im Dezimeterbereich erzielt werden.<sup>13</sup>

Ursprünglich musste jeder GNSS- Nutzer selbst einen zweiten GNSS- Empfänger, der permanent betrieben werden musste als Referenzstation im Messgebiet aufstellen. Um ohne einen zweiten eigenen Empfänger Korrekturdaten empfangen zu können, wurden von den Landesvermessungsämtern die permanenten SAPOS®-Referenzstationen aufgebaut. SAPOS® ist der „Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung“ und bietet drei verschie-

---

<sup>12</sup> [Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (2019a)]

<sup>13</sup> [Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (2019b)]

dene Dienste an, mit denen Korrekturdaten in Echtzeit oder Beobachtungsdaten im Postprocessing empfangen werden können. Die verschiedenen Dienste sind in der folgenden Graphik dargestellt.

	EPS	HEPS	GPSS
Verfahren	Echtzeit	Echtzeit	Postprocessing
Genauigkeit - Lage	0,3 - 0,8 m	0,01 - 0,02 m	≤ 0,01 m
Genauigkeit - Höhe	0,5 - 1,5 m	0,02 - 0,03 m	0,01 - 0,02 m
Übertragungstechnik	Ntrip über Internet (GPRS, UMTS, LTE)	Ntrip über Internet (GPRS, UMTS, LTE), GSM	Internet (Webserver)
Taktrate	1 Sekunde	1 Sekunde	1 Sekunde
Einheit	entfällt	1 Minute	1 Minute
SAPOS®-Gebühr je Einheit	150,00 EUR p.a.	0,10 EUR	0,20 EUR
Standard, Format	RTCM 2.3	RTCM 2.3, RTCM 3	RINEX 2.1

Abbildung 4-4 SAPOS-Dienste (Quelle: <https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html>)

Die Dienste SAPOS®- Echtzeit Positionierungs-Service und SAPOS®-Hochpräzise Echtzeit Positionierungs-Service arbeiten in Echtzeit, sodass der Nutzer die Messungen bereits vor Ort auf ihre Richtigkeit kontrollieren kann. Daher werden im Folgenden nur die Echtzeitpositionierungsdienste SAPOS® EPS und SAPOS® HEPS untersucht.

#### 4.2.1 SAPOS® EPS

Der SAPOS® EPS wird bei reinen Codephasenmessungen angewendet. Es werden Codephasen gemessen und der SAPOS®-EPS-Dienst liefert dazu die Codephasenkorrekturen. Es werden somit keine Basislinien gebildet sondern Pseudostrecken von der SAPOS®-Referenzstation zum aktuellen Standpunkt ermittelt. Die Korrekturdaten werden in Echtzeit im RTCM-Format (Radio Technical Commission for Maritime Services) in der Version 2.3 zur Verfügung gestellt. Die Übertragung der Korrekturdaten erfolgt über Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP), ein Verfahren zur Bereitstellung von GNSS-Korrekturdatenströmen über das Internet. Zum Empfang der Echtzeit-Korrekturdaten benötigt der Rover ein GPRS-Modem und eine Sim-Karte. Die Korrekturdaten werden von der fest aufgebauten Referenzstation über die Zentrale (Hahn) zum Auswerteprogramm im Feldrechner am Rover übermittelt. Bei einer Messung mit SAPOS®-EPS können Genauigkeiten in der Lage von 0,3-0,8 Meter und in der Höhe von 0,5-1,5 Meter (<http://www.sapos.de/eps>) erreicht werden.

#### 4.2.2 SAPOS® HEPS

Der Service SAPOS® HEPS wird bei der Messung von Code- und Trägerphasenmessungen angewendet. Zusätzlich zu den Codephasenkorrekturen werden bei SAPOS® HEPS Korrekturen der Trägerphasen übermittelt, die ebenfalls standardisiert im RTCM-Format über NTRIP in Echtzeit übermittelt werden. Da die Korrekturwerte mit zunehmender Entfernung zu den einzelnen Referenzstationen schlechter werden, werden alle SAPOS®- Referenzstationen in eine Vernetzung eingebunden. Dadurch erhält der Nutzer nicht nur die Korrekturdaten der nächstgelegenen Referenzstation, sondern von mehreren Referenzstationen, die durch ein Modell berechnet wurden. So wird erreicht, dass die Korrekturdaten eine höhere Genauigkeit haben und unabhängig von der Entfernung zur Referenzstation sind.

Bei einer Messung mit SAPOS-HEPS können Genauigkeiten in der Lage von 0,01-0,02 Meter und in der Höhe von 0,02-0,03 Meter erreicht werden. (<http://www.sapos.de/heps.html>)

#### 4.3 GNSS/IMU Kopplung

Die Firma IGI (Ingenieurgesellschaft für Interfaces) hat ihren Sitz im nordrhein-westfälischen Kreuztal und ist einer der weltweit führenden Hersteller für IMU-Systeme und Navigationssysteme für Kamera- und Lasersysteme. Ebenso bietet IGI komplette Fahrzeuglösungen im Bereich des Mobile Mapping an. Der Fokus des Unternehmens liegt auf der Systemintegration von verschiedenen Sensoren in selbst entwickelte Positionierungssysteme und auf dem Vertrieb von Komplettlösungen für kinematische und airborne Vermessungssysteme.

IGI stellt unter Anderem Navigationssysteme her, die durch die Kopplung mit einer inertialen Messeinheit (IMU= inertial measurement unit) auch ohne durchgehenden GNSS- Empfang funktionieren. Durch die verschiedenen Sensoren, die in der IMU verbaut sind, „werden fortlaufend die Bewegungsrichtung, die Geschwindigkeit und die seit der letzten Positionsbestimmung vergangene Zeit bestimmt“. [Wendel (2011)]

Die folgende Abbildung soll die Funktionsweise eines Inertialsystems verdeutlichen.

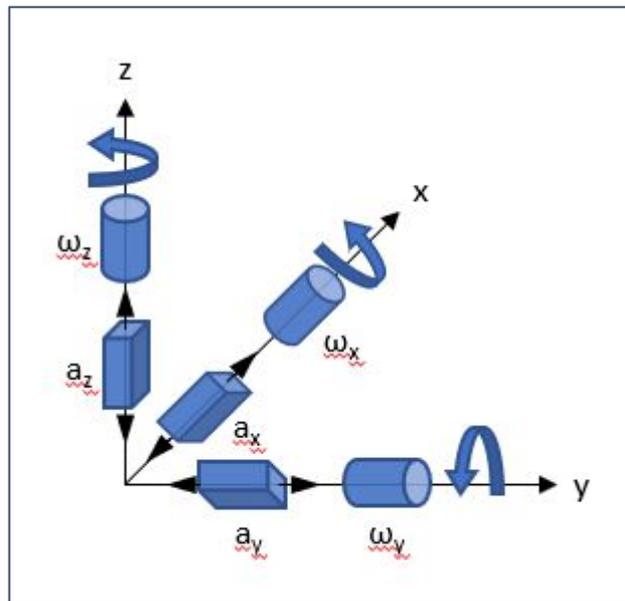


Abbildung 4-5 Funktionsweise einer IMU (Quelle: <https://www.gleisbauwelt.de/lexikon/gleisbau-und-instandhaltung/gleisvermessung/vormessen-mit-inertialmesssystem/>)

Die drei senkrecht aufeinander stehenden Beschleunigungssensoren  $a_x$ ,  $a_y$ , und  $a_z$  messen die Bewegung entlang der Koordinatenachsen. Durch Integrieren der Beschleunigung wird die Geschwindigkeit und durch erneutes Integrieren der zurückgelegte Weg berechnet.

$\omega_x$ ,  $\omega_y$  und  $\omega_z$  stellen die Kreisel, Gyroskope oder Drehratensensoren dar, die die Rotation um die jeweilige Achse erfassen. Werden alle Messwerte miteinander kombiniert, kann ein dreidimensionaler Fahrweg, auch Trajektorie genannt, abgeleitet werden.

Da das Inertialsystem selbst keine Satellitenbeobachtungen durchführt, sondern nur Relativpositionen berechnet werden, muss die Startposition bekannt sein. Die Bestimmung der Startposition erfolgt durch externe GNSS-Antennen. Die IMU kann nach Kenntnis der Startposition dann für jeden gemessenen Punkt die Koordinaten im jeweiligen Koordinatensystem berechnen. Die GNSS-Messungen werden weiterhin empfangen und zur Verbesserung der Positionierung verwendet.

Die Genauigkeit der Messungen mittels GNSS und einer IMU verschlechtern sich immer mehr je länger kein GNSS-Signal vorhanden ist. Kann der GNSS-Empfänger eine neue Position ermitteln, beginnt die IMU mit der Berechnung von neuem. Die Navigationsrechnung des inertialen Navigationssystem (INS) läuft immer durch. Wenn eine GNSS-Messung eingeht, wird das Ergebnis des INS mit der GNSS-Messung verglichen und aus der Differenz Rückschlüsse auf die Eigenschaften der IMU gezogen sowie eine optimale Position, Lage und Geschwindigkeit bestimmt.

Das GNSS/IMU System von IGI wird für die Vermessung vom Boden (TERRAcontrol) und aus der Luft (AEROcontrol) hergestellt. Diese Bachelorarbeit handelt nur von dem System „TERRAcontrol“.

Vom System „TERRAcontrol“ sind zwei verschiedene Modelle verfügbar, die sich durch ihren unterschiedlichen Aufbau und in der Genauigkeit unterscheiden.

Die Abbildung zeigt beide Modelle, bei denen erkennbar ist, dass die Modelle sich äußerlich nur in der Farbe unterscheiden.

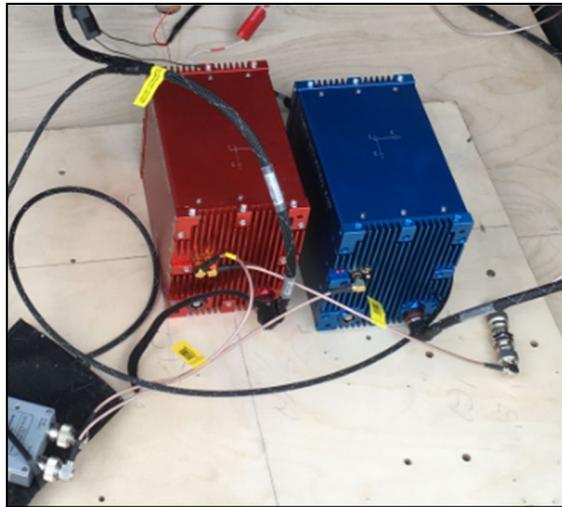


Abbildung 4-6 Zwei TERRAcontrol Systeme

Bei der roten Box handelt es sich um die IMU „Compact FOG- III“, die aus Beschleunigungssensoren und Glasfaserkreisel (FOG= fibre optic gyros) zusammengesetzt ist und daher in einer höheren Genauigkeit messen kann. Die Kosten für die IMU „Compact Fog- III“ belaufen sich aufgrund der hochwertigen verarbeiteten Komponenten auf rund 250 Tausend Euro. Die blaue Box trägt den Namen „Compact MEMS Plus“ und ist die IMU, die ungenauer messen kann als die andere. Die Drehratensensoren der „Compact MEMS Plus“ bestehen aus mikroelektromechanischen Kreiseln. (MEMS= micro- electro- mechanical gyros) Die „Compact MEMS Plus“ kostet etwa 50 Tausend Euro.

Die Positionsbestimmung des Inertialsystems wird bei diesen IMU im „Loosely Coupled Mode“ durchgeführt. Das heißt, dass zunächst - unabhängig von der IMU - aus den empfangenen GNSS- Daten eine Position und eine Geschwindigkeit berechnet wird. Danach setzt der Prozess ein, der eine reine Inertialnavigation durchführt. Die Ergebnisse der beiden Rechnungen werden fortlaufend miteinander verglichen, sobald eine GNSS- Messung durchgeführt wird. Daraus wird ein optimaler Zustand mit Position, Geschwindigkeit und Winkel berechnet und Rückschlüsse auf die Eigenschaften der IMU gezogen, die in der weiteren Berechnung berücksichtigt werden. Diese Berechnungen laufen in einem Kalman- Filter im Post-Processing, so dass vorwärts in der Zeit als auch rückwärts ausgewertet werden kann und die Ergebnisse optimal miteinander kombiniert werden können. Um Informationen aus den GNSS- Daten ziehen zu können, werden insgesamt vier sichtbare Satelliten benötigt.

Die Positionsbestimmungen bei Satellitenempfang können durch ein oder zwei GNSS- Antennen und einem integrierten GNSS- Empfänger durchgeführt werden. Die zweite Anten-

ne verbessert die Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei niedrigen. Der GNSS- Empfänger hat 544 Kanäle um die Systeme GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO, QZSS, SBAS beobachten zu können und unterstützt den „TerraStar Correction Service“, der weltweit Korrekturdaten versendet.

Die IMU „Compact MEMS plus“ und „FOG- III“ können in einer Datenrate von 600 Hz messen.

Die Auswertung der Messungen erfolgt mit der Software „TERRAoffice“, die ebenfalls von der Firma IGI entwickelt wurde und in einem Preisrahmen von 25 Tausend Euro liegt. Die Software enthält alle Funktionen und Werkzeuge, die zur Verarbeitung und Berechnung der äußeren Orientierung, sowie zur Qualitätskontrolle, und Export der gemessenen GNSS- und IMU- Daten erforderlich ist. Wenn die Software bereits während der Messung angewendet wird, ist zu sehen, wie viele und welche Satelliten empfangen werden können und zu welchem Zeitpunkt weniger als vier Satelliten sichtbar sind, sodass die IMU Positionsbestimmungen ohne Auswertung der GNSS- Messungen durchführen muss.

Die Verarbeitung der Daten muss über die Software „TERRAoffice“ durchgeführt werden, deren Lizenzen bei IGI erworben werden müssen. Eine Verarbeitung in einer anderen Software ist nicht vorgesehen.

Die Aufmessung der Wege mit dem GNSS/IMU- System der Firma IGI wurde im Rahmen eines Flurbereinigungsverfahrens noch nicht durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit wird das System getestet und im Kapitel 5 mit den anderen innovativen Möglichkeiten verglichen.

Die IMU- Boxen sind 12,6 cm hoch, 9,8 cm breit und 15,3 cm tief und wiegen zwischen 1,6 kg und 2,2 kg. Durch ihre kompakte Form wären sie auch dafür geeignet in einem Rucksack transportiert zu werden. Da dazu jedoch erst eine Konstruktion gebaut werden müsste und eine Konstruktion zur Durchführung von Messungen mit dem Auto bereits vorhanden war, wurden die Testmessungen im Auto durchgeführt. In der Testmessung werden beide IMU mit zwei Autobatterien in einem Auto und die GNSS- Antennen auf dem Dach eines Autos befestigt. Durch Befahren der Wege wird die Mittellinie des Weges gemessen.

In den folgenden beiden Abbildungen ist die Konstruktion des Systems zu sehen. Dabei ist anzumerken, dass die Autobatterien mehr Leistung haben als benötigt würde und somit durch Kleinere ersetzt werden könnten.

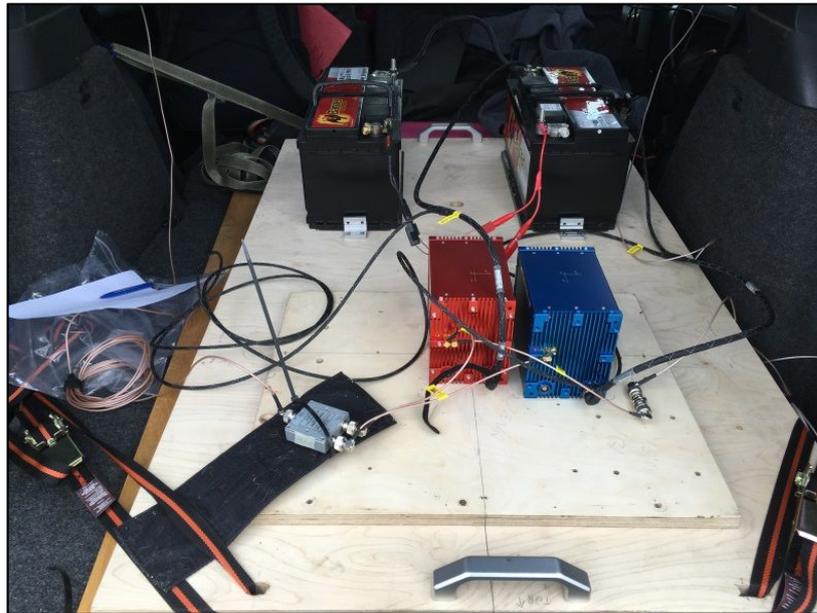


Abbildung 4-7 IMU im Auto verbaut



Abbildung 4-8 Antennen mit Dachträger auf einem Auto

## **5 Vergleich der Ergebnisse der drei Vermessungsverfahren am Praxisbeispiel „Struth (Wald)“**

Die vorherigen beiden Kapitel beschäftigten sich mit der Untersuchung der bisherigen vermessungstechnischen Bearbeitung an Praxisbeispielen und möglichen innovativen Entwicklungsmöglichkeiten der vermessungstechnischen Bearbeitung. Es wurden Entwicklungsmöglichkeiten im Bereich der satellitengestützten Vermessung mit und ohne Inertialsystem und der Photogrammetrie aufgezeigt. Im folgenden Abschnitt werden die drei verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten an ausgewählten Wegen des Verfahrens Struth (Wald) hinsichtlich der Punktausfälle, der Genauigkeit der Punktbestimmung und der Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit getestet. Dazu werden die Wegpunkte zunächst terrestrisch bestimmt, damit ein direkter Vergleich der innovativen Maßnahmen mit den terrestrisch bestimmten Koordinaten möglich ist.

### **5.1 Flurbereinigungsverfahren Struth (Wald)**

Das Verfahren Struth (Wald) ist ein reines Waldflurbereinigungsverfahren, das im Landkreis Vulkaneifel liegt. Das Verfahren wurde 2014 als vereinfachtes Flurbereinigungsverfahren mit einer Fläche von 681 ha angeordnet<sup>14</sup> und gliedert sich in fünf getrennt liegende Teilgebiete, die sich über sieben Gemeinden erstrecken. Im Rahmen des Waldflurbereinigungsverfahrensmodell 2 wurden vorweg ca. 10 km ganzjährig befahrbare Holzabfuhrwege durch die zuständigen Forstämter unter Förderkonditionen der Flurbereinigung ausgebaut. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Übersichtskarte des Verfahrensgebiets vom Verfahren Struth (Wald). Die blau dargestellten Wege wurden von den Forstämtern vorweg ausgebaut.

---

<sup>14</sup> Vgl. Flurbereinigungsbeschluss vom 15.12.2014

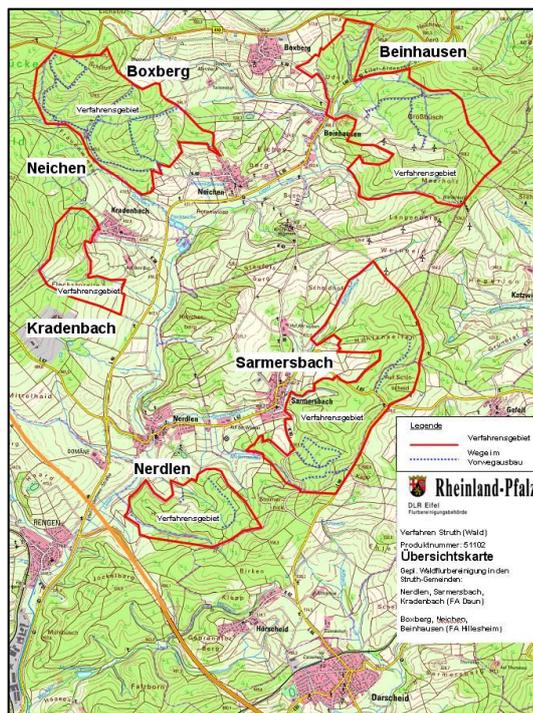


Abbildung 5-1 Übersicht des Verfahrensgebiets und der vorweg gebauten Wege (Quelle: DLR Eifel)

Die Wahl des Vorstands der Teilnehmergemeinschaft erfolgte im Jahr 2015. Die Signalisierung der Pass- und Neupunkte und die anschließende Befliegung erfolgten im Jahr 2018. Weitere Arbeiten wurden im Verfahren noch nicht durchgeführt.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit werden drei der in Abbildung 5- 1 blau markierten Wege mit möglichst unterschiedlichen Hängigkeiten, Begleitaufwuchs und Bodenbeschaffenheit ausgewählt um an diesem Beispiel die innovativen Maßnahmen zu testen. Die Auswahl der Wege erfolgte nach Sichtung aller Wege in der Örtlichkeit. Ziel der Auswahl der Wege ist es, dass die zuvor genannten Kriterien auf unterschiedliche Art erfüllt werden, sodass bei der Messung ein breites Spektrum an unterschiedlicher Beschaffenheit der Wege berücksichtigt wird.

Zunächst wurde darauf geachtet, dass einer der ausgewählten Wege in einem Gebiet mit möglichst starkem Quergefälle liegt, damit getestet werden kann ob das Bestimmen einer Mittellinie auch bei Wegen mit großen Böschungen ausreicht. Das Verfahren Struth (Wald) weist anders als viele Verfahren im Eifelkreis Bitburg- Prüm- keine topographischen Schwierigkeiten auf. Das Gelände ist an vielen Stellen sehr flach, weshalb keiner der Wege über eine lange Strecke hinaus hohe Böschungen aufweist. Dementsprechend wurde ein Weg ausgewählt, der im Verhältnis zu den anderen Wegen möglichst viele Böschungen hat. Daher wurde ein Weg im Verfahrensgebiet von Neichen ausgewählt. Dieser Weg ist etwa 1400 m lang und führt abwechselnd durch Nadel- und Laubwald und weist etwa in der Hälfte des ausgewählten Bereichs seitliche Böschungen auf, die zwischen 50 cm und 1,50 m hoch sind.

In der folgenden Abbildung sind die Lage und der Verlauf des Weges dargestellt. Im Orthophoto (rechts) sind Nummerierungen angebracht. Die Nummerierungen im Orthophoto

(rechts) dienen der Zuordnung der Wegefotos (Abbildungen 5-3 und 5-4). Diese sollen einen Eindruck der Örtlichkeit vermitteln.

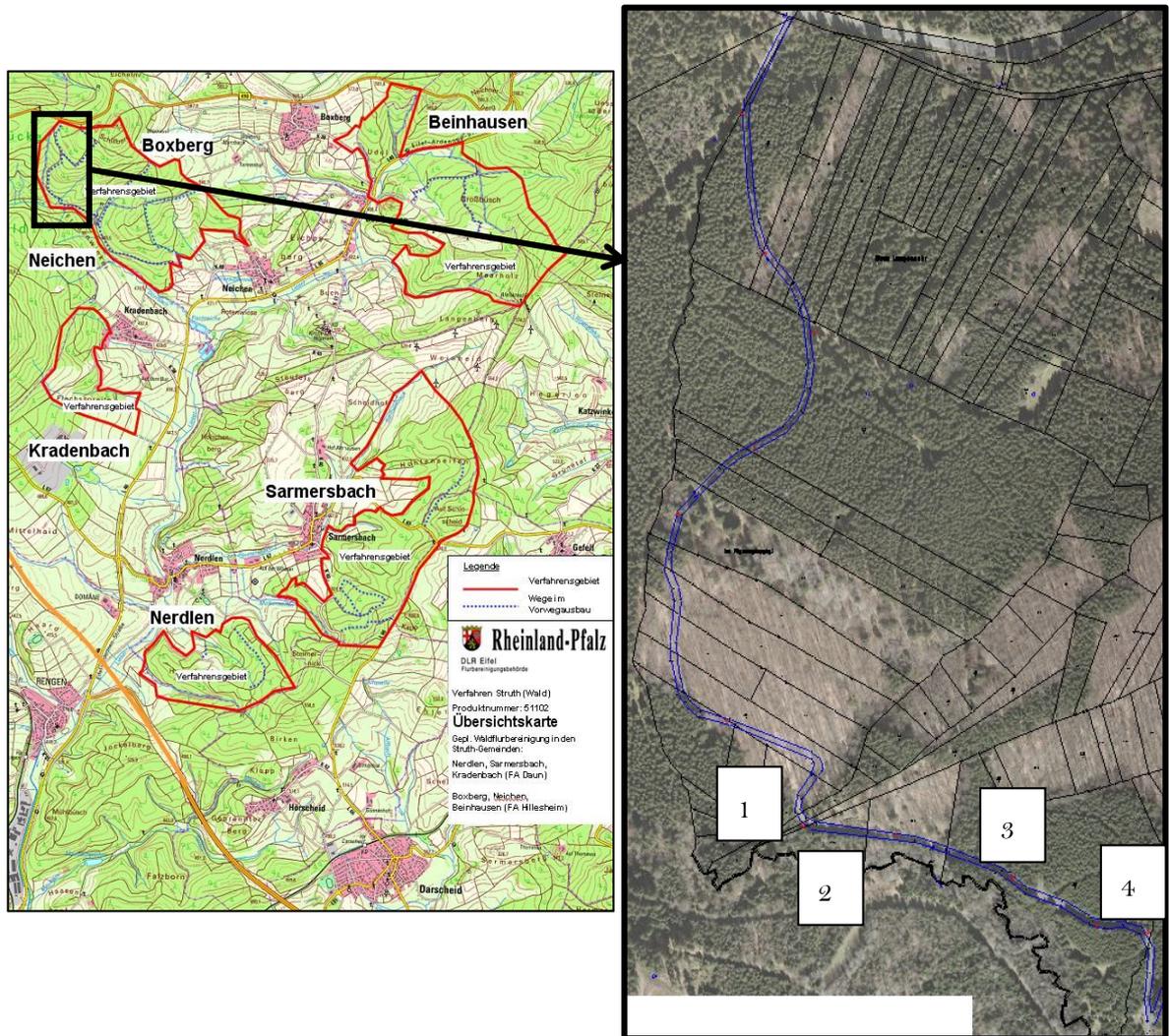


Abbildung 5-2 Lage und Verlauf des ersten ausgewählten Weges



Abbildung 5-3 Detailfotos 1 bis 4

Ebenso im Verfahrensbereich von Neichen liegt ein Weg, der fast vollständig im Laubwald liegt. Dort ist die Besonderheit, dass der Wegeboden sehr viel von Laub bedeckt ist, sodass die Wegetrasse vor Ort nicht direkt erkennbar ist. Da dies vor allem bei der photogrammetrischen Auswertung von Bedeutung sein kann, wird dieser Weg als zweiter Weg ausgewählt. Dadurch wird durch diesen Weg das Kriterium der möglichst unterschiedlichen Bodenbeschaffenheit erfüllt. Dieser Weg ist etwa 800 m lang.

Da beim vorangegangenen Weg darauf geachtet wurde, dass Böschungen vorhanden sind, unterscheidet sich der zweite ausgewählte Weg neben der Bodenbeschaffenheit auch im Wegeprofil von dem ersten, da hier gar keine Böschungen vorhanden sind, sodass die Topographie sich zwischen Wege- und Waldbereich nicht unterscheidet.

In der folgenden Abbildung sind die Lage und der Verlauf des zweiten Weges dargestellt. Im Orthophoto (rechts) ist ebenfalls eine Nummerierung angebracht. Die Nummerierung im Orthophoto (rechts) dient der Zuordnung des Wegefotos (Abbildungen 5-5) und soll einen Eindruck der Örtlichkeit vermitteln.

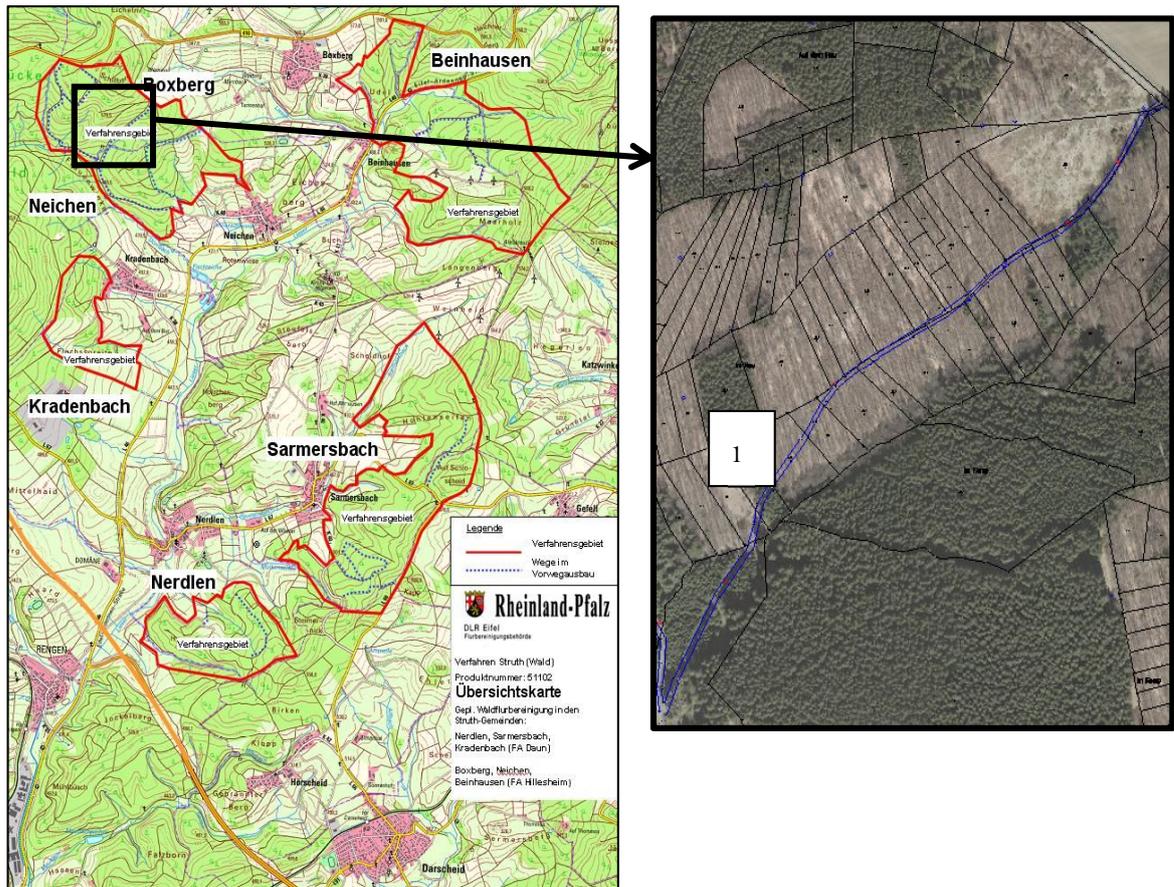


Abbildung 5-4 Lage und Verlauf des zweiten Weges



Abbildung 5-5 Detailfoto 1

Ein weiteres Kriterium zur Auswahl der Wege ist, dass das Lichtraumprofil der Wege durch die Baumkronen der Begleitbäume Wege unterschiedlich stark eingeschränkt sein sollte, damit die Luftsichtbarkeit der Wege unterschiedlich stark eingeschränkt ist. Im Zusammenhang mit dieser Bedeckung der Wege ist anzumerken, dass der Ausbau der Wege bereits vor der An-

ordnung im Jahre 2014 durchgeführt wurde. Daher ist das Lichtraumprofil der Wege bereits wieder mit den Baumkronen der Begleitbäume überwachsen, so dass die Luftsichtbarkeit der Wege stark eingeschränkt ist. Das Kronendach der entlang der Wege stehenden Bäume schließt sich ganz oder teilweise über dem Weg. Daraus resultiert, dass das Lichtraumprofil nur durch die Unterscheidung zwischen Nadel- und Laubwald unterschiedlich stark eingeschränkt werden kann.

Ein Weg sollte eine möglichst lange Strecke durch einen Nadelwald verlaufen, damit getestet werden kann wie sich die GNSS- Geräte verhalten, wenn lange Zeit eine dichte Bedeckung vorhanden ist. Außerdem ist dort erkennbar ob es im Nadelwald möglich ist Punkte photogrammetrisch zu bestimmen. Daher wurde als dritter Weg ein etwa 1070 m langer Weg im Verfahrensgebiet von Beinhausen ausgewählt. In der folgenden Abbildung sind wieder die Lage und der Verlauf des Weges zu sehen. Die angebrachten Nummern im Orthophoto (rechts) verweisen auf die folgenden Detailfotos (Abb. 5-7 und 5-8).

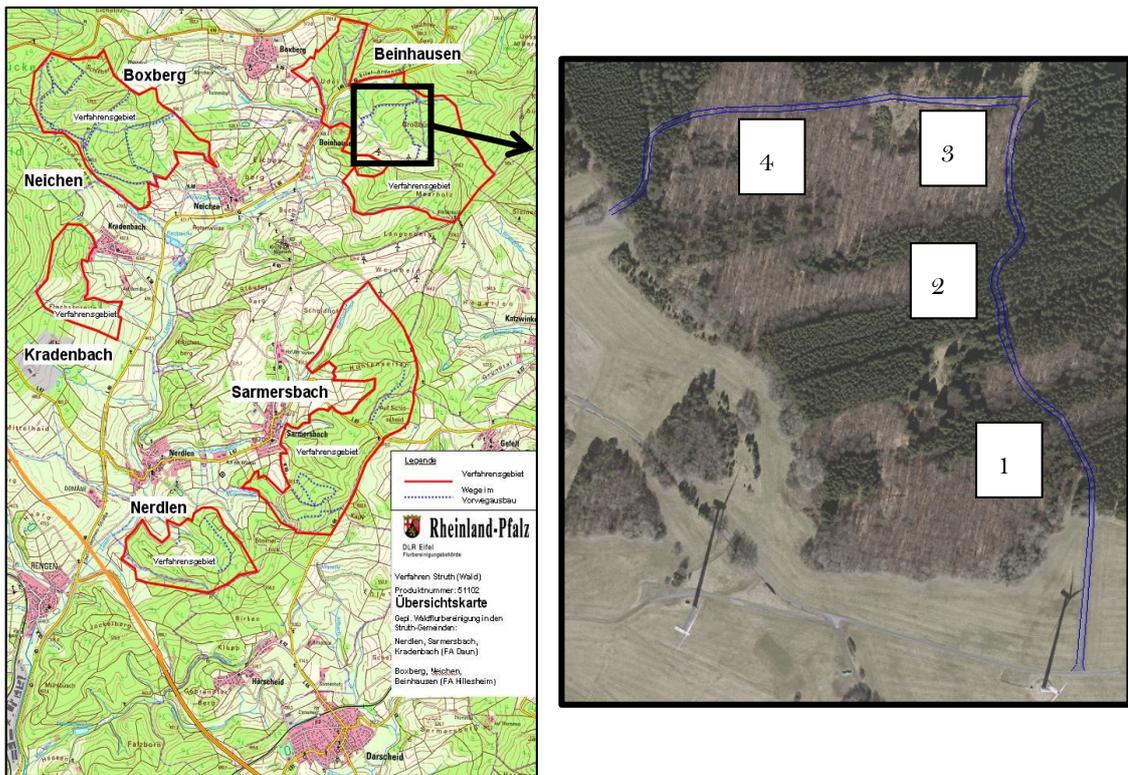


Abbildung 5-6 Lage und Verlauf des Weges 3

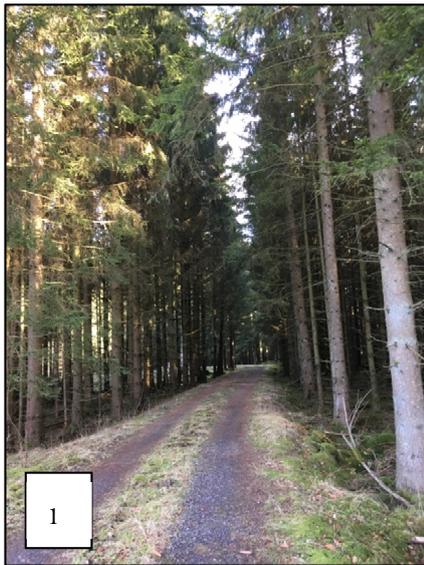


Abbildung 5-8 Detailfotos 1 und 2

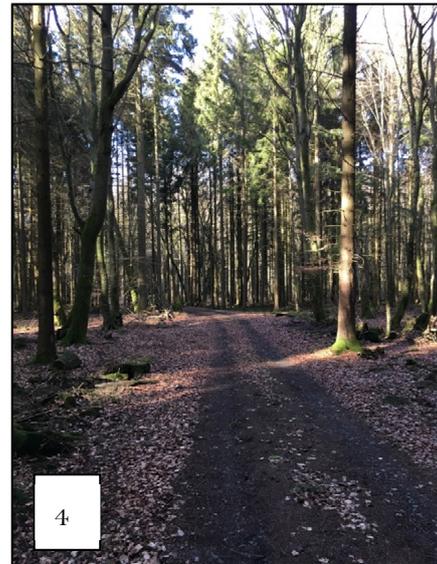


Abbildung 5-7 Detailfotos 3 und 4

Durch die ausgewählten drei Wege werden die innovativen Vermessungsmethoden in unterschiedlichen Querhängigkeiten, unterschiedlicher Bedeckung und unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit durchgeführt, sodass die Messergebnisse der insgesamt etwa 3.270 m langen Strecke zu einem aussagekräftigen Ergebnis führen können.

## 5.2 Terrestrisch bestimmte „Soll-Koordinaten“

Die terrestrische Vermessung wird bislang in Flurbereinigungsverfahren zur gesamten Vermessung im Wald verwendet. Da bei dieser Art der Messung, bei Einhaltung der nach RiLiV vorgegebenen Fehlergrenzen, von einer einwandfreien Vermessung auszugehen ist, ist die terrestrische Vermessung das bislang genaueste Vermessungsverfahren im Wald. Ebenso ist der gemessene Grenzverlauf bei der terrestrischen Vermessung genau auf die Örtlichkeit

abgestimmt, weil die örtlichen Besonderheiten durch Messungen im Wald beachtet werden konnten. Somit sollten die Messungen der innovativen Entwicklungsmöglichkeiten in etwa dem Grenzverlauf der terrestrischen Messung entsprechen, da dieser die Örtlichkeit sehr gut widerspiegelt.

Daher werden die Wegeknickpunkte zunächst unter Verwendung der unter Kapitel 3 beschriebenen terrestrischen Vermessung bestimmt um „Soll“-Koordinaten zu erhalten, die einen Vergleich zu den innovativen Vermessungsmethoden ermöglichen. Dadurch ist es möglich Aussagen über die Genauigkeit der Punktbestimmung in Bezug auf die Örtlichkeit zu treffen.

Während der terrestrischen Vermessung wurden die gemessenen Wegepunkte mit Holzpfählen und Kunststoffkegeln vermarkt, damit die Möglichkeit besteht mit einer anderen Vermessungsmethode die gleichen Punkte noch einmal zu messen um sie direkt miteinander vergleichen zu können.

In Kapitel 3 sind die verschiedenen Möglichkeiten des Grenzverlaufs von Wegen aufgezeigt und erläutert. In dieser Arbeit dient jeweils die obere Böschungskante als Begrenzung des Weges, sodass die obere Böschung zum Weg hinzugezogen wird und die untere Böschung beim jeweiligen Eigentümer verbleibt. Diese Entscheidung wird auf Grund der Erläuterungen in Kapitel 2 als am sinnvollsten angesehen.

### **5.3 Punktausfälle**

In allen Messmethoden kann es dazu kommen, dass Punkte aus verschiedenen Gründen nicht gemessen werden können und dadurch bei der Messung ausfallen. Im folgenden Teil werden die Punktausfälle in der Photogrammetrie, bei GNSS-Messungen und bei der GNSS-Messung mit Inertialsystem betrachtet. Die jeweils verwendeten Prozent- und Längenangaben wurden aus der Karte abgegriffen und sind somit Annäherungswerte.

#### **5.3.1 Photogrammetrie**

##### **5.3.1.1 Weg 1**

Der erste der drei Wege ist mit einer Länge von etwa 1395 m der längste der ausgewählten Wege. In diesem Gebiet wechselt der Bestand häufig zwischen Nadel- und Laubwald, sodass immer wieder Lücken entstehen, in denen keine photogrammetrische Auswertung möglich ist. Entlang des Weges gibt es fünf einzelne Teilstrecken, die photogrammetrisch ausgewertet werden können. Insgesamt war eine Auswertung bei 45 % des Weges möglich.

In der folgenden Tabelle wird im Wegeverlauf von Norden nach Süden detailliert dargestellt in welchen Teilbereichen eine Auswertung im Stereomodell möglich war und in welchen nicht. Die Nummern, die in der letzten Spalte der Tabelle stehen, verweisen auf die darauf folgende Abbildung 5- 9.

Tabelle 5-1 Analyse der Punktausfälle in Weg 1

Teilbereich Länge [m]	photogrammetrisch auswertbar	Besonderheiten bei der photogrammetrischen Auswertung	Abb. 5- 9 Nummer
95	ja	Dieser Bereich liegt innerhalb eines Laubwaldes. Die Wegränder waren gut sichtbar.	
550	nein	Dieser Bereich verläuft durch einen dichten Nadelwald.	1
115	ja	Dieser Bereich liegt wiederum in einem Laubwald, in dem die Wegränder deutlich erkennbar waren.	
50	nein	Dieser Bereich liegt am Rande eines Nadelwalds. Trotzdem war der Weg hier auf Grund des Schattenwurfs nicht genau genug erkennbar.	2
310	ja	Der Weg verläuft hier wieder durch einen Laubwald, in dem eine Auswertung möglich war.	
110	nein	Dieser Bereich liegt wieder innerhalb eines dichten Nadelwalds.	3
25	ja	Dieser Teilbereich liegt ebenso in einem Nadelwald, jedoch sind die Bäume weit genug vom Weg entfernt, womit der Schattenwurf geringer ist und eine Auswertung möglich ist.	
60	nein	Dieser Bereich verläuft ebenso innerhalb eines dichten Nadelwalds	4
80	ja	In diesem Bereich ist eine kleine Lichtung vorzufinden, wodurch der Weg sehr gut erkennbar war.	

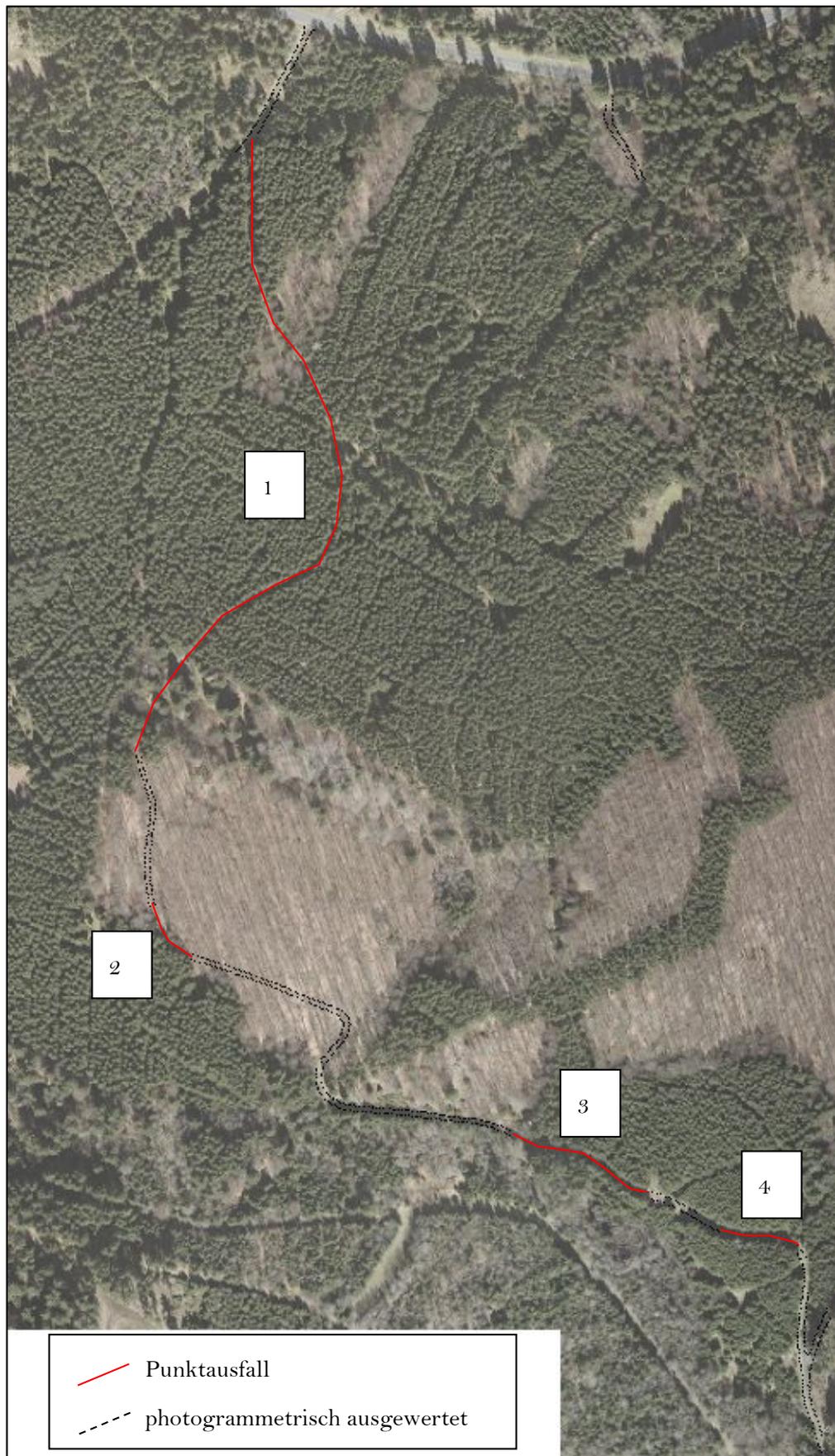


Abbildung 5-9 Punktausfälle bei der photogrammetrischen Auswertung in Weg 1

### 5.3.1.2 Weg 2

Der zweite Weg ist mit 810 m der kürzeste der drei Wege. Bei diesem Weg konnten nur drei Teilstrecken im Stereomodell ausgewertet werden, deren Länge zusammen einen Anteil von nur 36% der gesamten Wegelänge ausmacht.

Die folgende Tabelle zeigt detailliert die Ergebnisse der Analyse der Punktausfälle im zweiten Weg von Norden nach Süden. Die Nummern in der letzten Spalte verweisen wiederum auf die Abbildung 5-10.

Tabelle 5-2 Analyse des Punktausfalls in Weg 2

Teilbereich Länge [m]	photogrammetrisch auswertbar	Besonderheiten bei der photogrammetrischen Auswertung	Abb. 5- 10 Nummer
45	ja	In diesem Bereich ist eine kleine Lichtung vorzufinden, wodurch der Weg sehr gut erkennbar war.	
140	nein	Dieser Bereich verläuft durch einen dichten Nadelwald.	1
30	ja	Dieser Bereich verläuft durch einen Laubwald mit guter Luftsichtbarkeit.	
380	nein	Die ersten 30 m des Weges in diesem Bereich sind durch einen Nadelwald nicht auswertbar. Danach verläuft der Weg zwar durch einen Laubwald, jedoch ist dort auf Grund des gefallen Laubs kein farblicher Kontrast zwischen Wege- und Waldbereich erkennbar. Da dort nur wenig Quergefälle vorhanden ist, unterscheidet sich die Topographie zwischen Weg und umliegenden Wald nicht, sodass der Weg im Stereomodell nicht ausreichend erkennbar war.	2
215	ja	Der Weg hat hier ein großes Lichtraumprofil, wodurch dieser gut erkennbar war.	

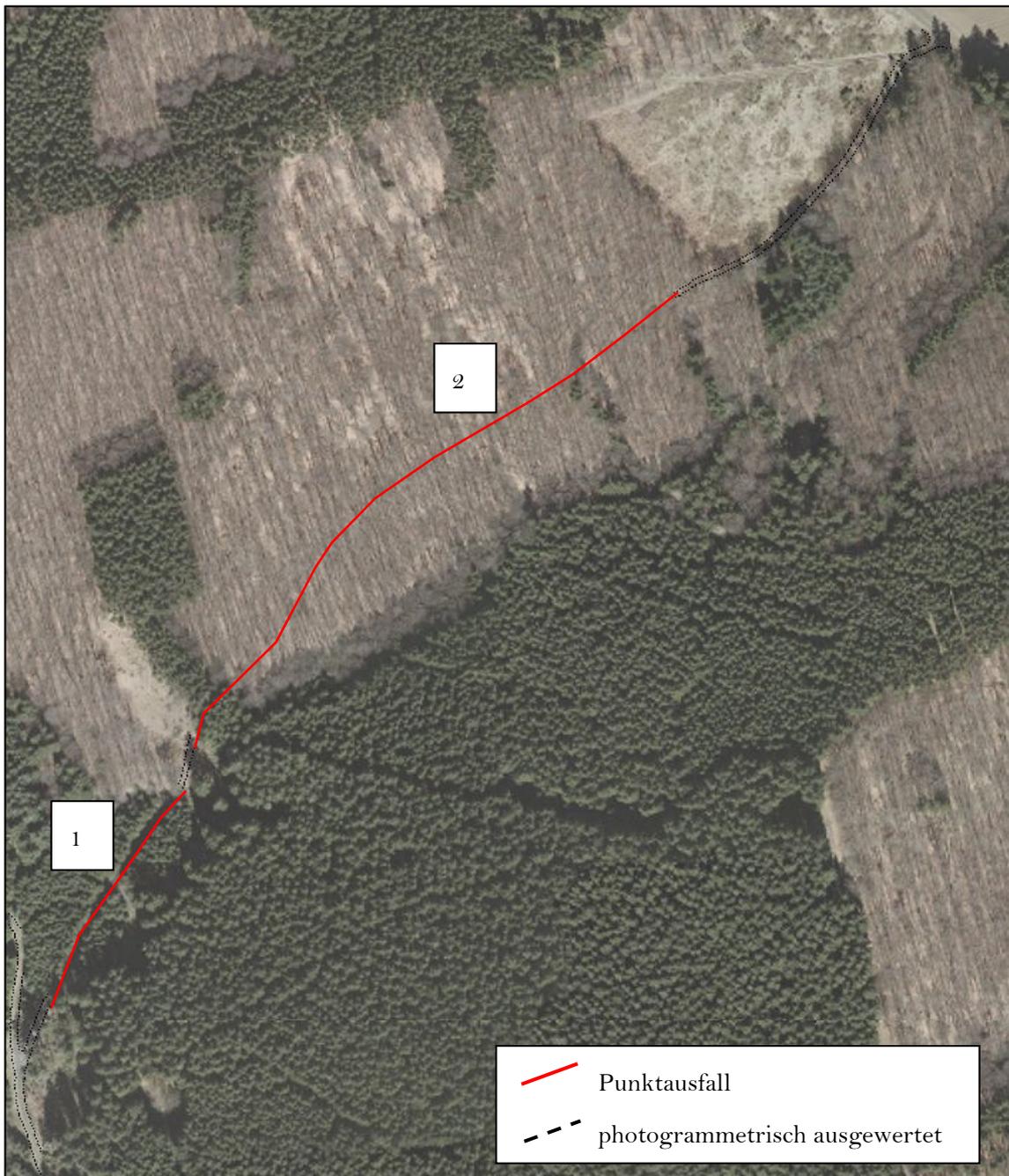


Abbildung 5-10 Punktausfälle bei der photogrammetrischen Auswertung in Weg 2

### 5.3.1.3 Weg 3

Der dritte Weg, der im Verfahrensbereich Beinhausen liegt, ist 1065 m lang und war zu 62 % im Stereomodell auswertbar.

In der folgenden Tabelle wird im Wegeverlauf von Ost nach West detailliert dargestellt in welchen Teilbereichen des dritten Weges eine Auswertung im Stereomodell möglich war und in welchen keine möglich war. Die Nummern, die in der letzten Spalte der Tabelle stehen, verweisen auf die darauf folgende Abbildung 5- 11.

Tabelle 5-3 Analyse der Punktausfälle im Weg 3

Teilbereich Länge [m]	photogrammetrisch auswertbar	Besonderheiten bei der photogrammetrischen Auswertung	Abb. 5- 11 Nummer
165	ja	Der erste Teilbereich verläuft noch außerhalb des Waldes, wodurch die Luftsichtbarkeit eindeutig gegeben war.	
140	nein	Dieser Bereich verläuft durch einen dichten Nadelwald.	1
35	ja	Dieser Bereich liegt wiederum in einem Laubwald, in dem die Wegränder deutlich erkennbar waren.	
195	nein	Dieser Bereich liegt wiederum innerhalb eines dichten Nadelwalds.	2
415	ja	Der Weg verläuft hier wieder durch einen Laubwald, in dem eine Auswertung möglich war.	
40	nein	Dieser Bereich liegt wieder innerhalb eines dichten Nadelwalds.	3
45	ja	Dieser Teilbereich liegt ebenso in einem Nadelwald, jedoch sind die Bäume weit genug vom Weg entfernt, womit der Schattenwurf geringer ist und eine Auswertung möglich ist.	
30	nein	Dieser Bereich verläuft ebenso innerhalb eines dichten Nadelwalds	4

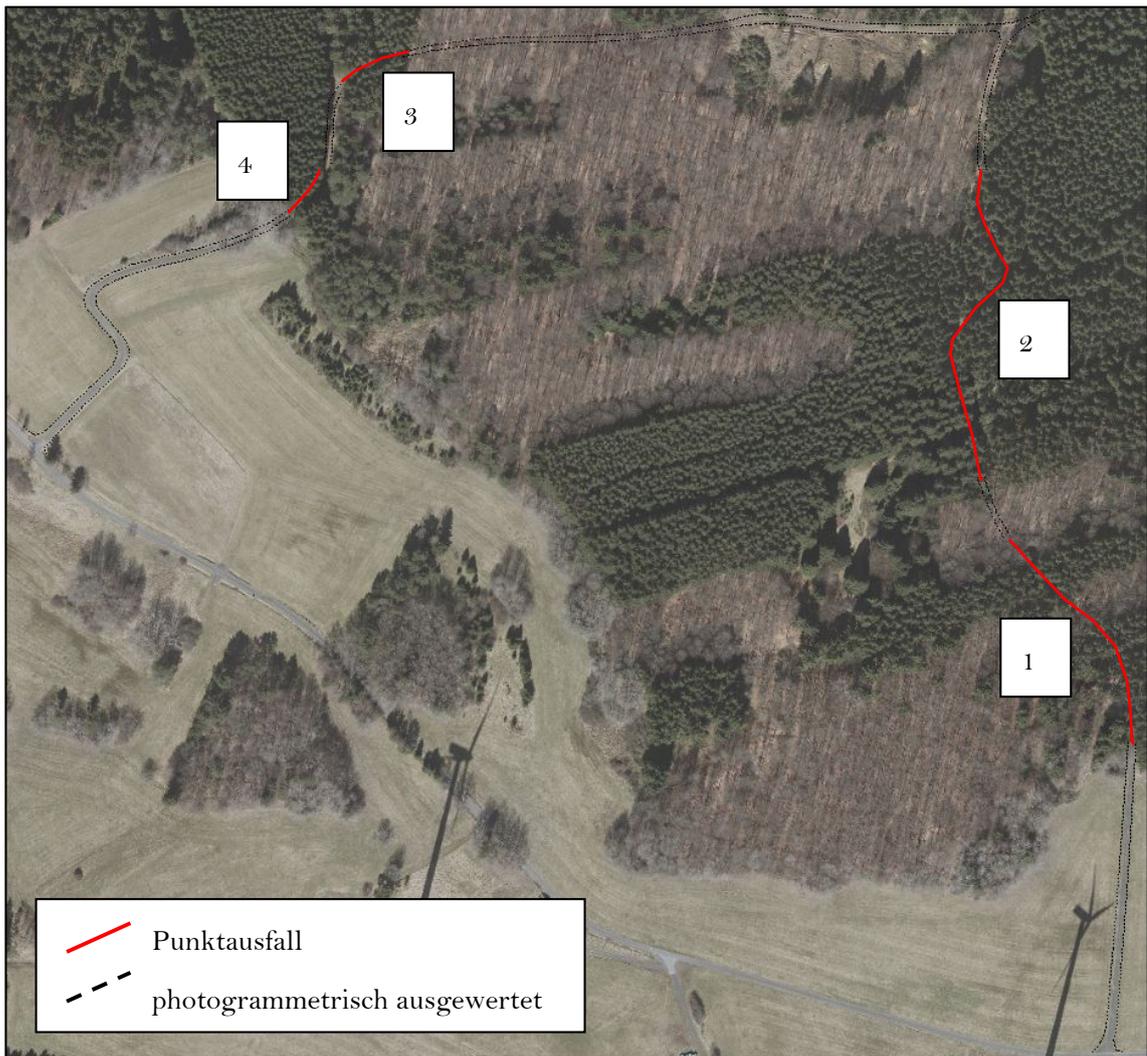


Abbildung 5-11 Punktausfälle bei der photogrammetrischen Auswertung in Weg

#### 5.3.1.4 Zusammenfassung der Punktausfälle in der Photogrammetrie

In freien Lagen sind Punktausfälle in der Photogrammetrie sehr selten, da die Bodensicht generell immer gegeben ist. Dort kann ein Punktausfall nur dann vorkommen, wenn die zu messenden Punkte während des Bildflugs durch Hindernisse wie zum Beispiel Fahrzeuge verdeckt sind. In Waldbereichen kann die photogrammetrische Auswertung jedoch häufiger nicht erfolgen. Durch Einflüsse wie Schattenwurf und fehlendem Kontrast der Wege zum Umfeld, sind die Wegränder im Wald im Orthophoto oftmals nicht ausreichend erkennbar. Ebenso ist das Orthophoto in Waldbereichen aufgrund eines fehlerhaften DGM häufig nicht verzerrungsfrei, sodass Bildpunkte nicht lagerichtig bestimmt werden können. Daher sollte die Auswertung der Wegeknickepunkte nicht durch den jeweiligen Bearbeiter über PuDig im Orthophoto erfolgen. Es bedarf in diesen Fällen einer photogrammetrischen Auswertung im Stereomodell, die nur zentral an der TZ durchgeführt werden kann. In der folgenden Abbildung ist zu sehen, dass ein Weg im Orthophoto nicht ausreichend erkennbar ist. Im Stereomodell waren die Wegränder ausreichend sichtbar, sodass eine Auswertung des Weges problemlos möglich war.

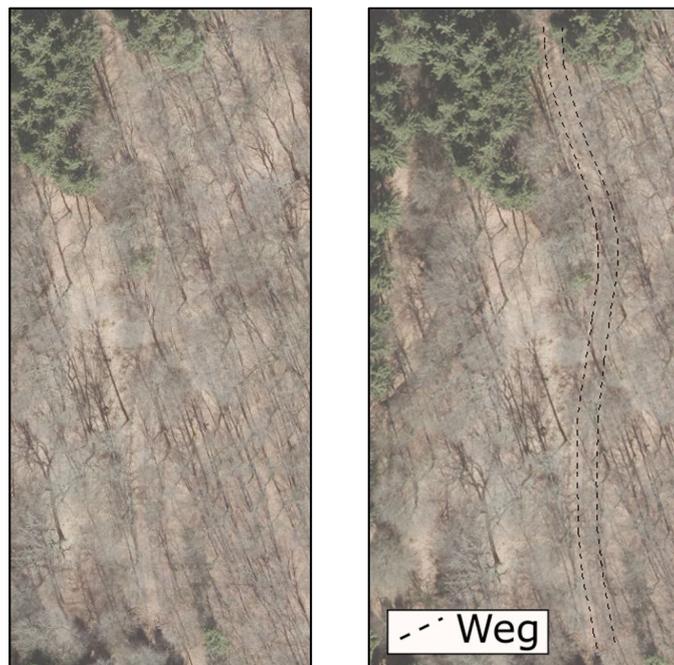


Abbildung 5-12 Sichtbarkeit eines Wegeabschnitts im Orthophoto (links) und ausgewerteter Weg (rechts)

Durch die durchgeführte Kreuzbefliegung mit geplanten 60% Längsüberlappung und 40% Querüberlappung kann bei der Auswertung im Stereomodell zwischen maximal 8 Stereobildpaaren gewechselt werden. Dadurch ist in vielen Bereichen eine bessere Einsicht ins Gebiet gegeben.

Bei Betrachtung der Punktausfälle im Untersuchungsgebiet ist eine klare Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelwald erkennbar. Im Nadelwald ist eine photogrammetrische Auswertung nicht möglich, da die hohen Nadelbäume Schatten auf den Weg werfen und dadurch

die Wegränder nicht mehr erkennbar sind. Dort ist auch ein Wechsel zwischen den Stereomodellen nicht zielführend. Ausnahmen bilden die Bereiche, in denen der Baumbestand nicht direkt bis zum Wegrand reicht. Dort bedeckt der Schattenwurf nicht den ganzen Weg, sodass eine Messung der Wegränder möglich ist. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel eines Bereichs im Nadelwald, in dem eine Auswertung möglich ist.

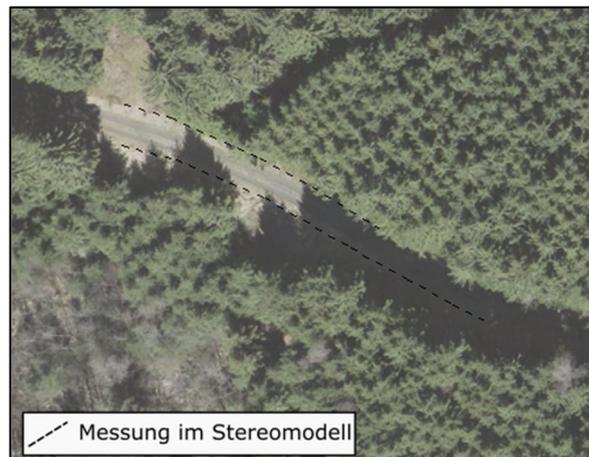


Abbildung 5-13 sichtbarer Weg im Nadelwald

Im Laubwald ist die photogrammetrische Auswertung oftmals von der Beschaffenheit des Weges in der Örtlichkeit abhängig. Der Boden ist zum Befliegungszeitpunkt im Frühjahr in allen Laubwaldbereichen mit gefallenem Herbstlaub bedeckt, sodass ein Kontrast zwischen Wege- und Waldbereich nur schwierig erkennbar ist. Bei häufiger befahrenen Wegen sind Fahrspuren vorhanden. Dort kann die Lage des Weges anhand der Fahrspur festgelegt werden. Bei Wegen im Laubwald, die keine Fahrspuren aufweisen, besteht die Möglichkeit die Lage des Weges anhand der Topographie zu bestimmen. Liegt der Weg in steilem Gelände, sind am Wegrand Böschungen vorhanden und der Weg liegt im Gegensatz zum umgebenen Gelände eben. Durch die dreidimensionale Sichtweise im Stereomodell ist es dadurch möglich die Lage zu bestimmen.

Bei einer untersuchten Wegestrecke von insgesamt 3.270m liegen jedoch auch 380 m Weg in einem Laubwald, bei dem keine Fahrspuren erkennbar sind und die Lage des Weges nicht aufgrund der Topographie bestimmt werden kann. In diesem Fall können die Wegeknickepunkte nicht photogrammetrisch ausgewertet werden und fallen komplett aus. In der folgenden Graphik ist ein Teilbereich des Weges zu sehen, bei dem keine photogrammetrische Bestimmung möglich war.



Abbildung 5-14 Teil eines nicht luft-sichtbaren Weges

Die folgende Tabelle zeigt, dass insgesamt 52 % der aufzumessenden Wege nicht photogrammetrisch ausgewertet werden konnten. Außerdem stellt sie die verschiedenen messbaren Teilstrecken der unterschiedlichen Wege dar.

Tabelle 5-4 photogrammetrisch auswertbare Wegestrecke

Weg	Wegestrecke insgesamt [m]	photogrammetrisch auswertbare Teilstrecken [m]					Summe der Teilstrecken[m]	Verhältnis der Summe der Teilstrecken zur Gesamtwegestrecke[%]
		1.	2.	3.	4.	5.		
Weg 1	1395	95	115	310	25	80	625	45%
Weg 2	810	45	30	215			290	36%
Weg 3	1065	165	35	415	45		660	62%

	Summe	Prozent
Wegestrecke insgesamt [m]	3270	100%
Summe aller Teilstrecken [m]	1575	48%
nicht messbare Wegestrecke[m]	1695	52%

Zusammenfassend ist feststellbar, dass die photogrammetrische Auswertung im Stereomodell viel häufiger möglich ist als im Orthophoto. Durch die 3D-Visualisierung im Stereomodell können im Laubwald alle Wegeknickepunkte bestimmt werden, bei denen ein ausreichend großer Kontrast zwischen Wegetrasse und Waldgebiet erkennbar ist. Lediglich in dichtem Nadelwald ist überhaupt keine Auswertung möglich. Es kommt somit in der Praxis zu einem steten Wechsel in Bezug auf die photogrammetrische Auswertbarkeit der Wege.

### 5.3.2 GNSS

Bei der Messung mit GNSS wird nicht von vornherein zwischen den drei Wegen unterschieden, da keine feststellbaren Unterschiede bei der Messung erkennbar waren, sodass die Beurteilung der Punktausfälle bei GNSS zusammenhängend für alle drei Wege durchgeführt wird.

Bei GNSS Messungen können Punkte bei der Nutzung der Echtzeit Korrekturdatendienste SAPOS HEPS und EPS nur dann komplett ausfallen, wenn wegen fehlender Internetverbindung keine Verbindung zu SAPOS hergestellt werden kann.

Um möglichst in allen Bereichen eine Netzabdeckung zu gewährleisten, sind die GNSS Geräte der TZ mit zwei SIM- Karten ausgestattet und zwar für die Netze D1 und D2. Dadurch ist es

sehr selten, dass in Bereichen gemessen wird, in denen keine der beiden SIM-Karten Internetempfang hat. Für die SAPOS HEPS Messung im Verfahren Struth (Wald) wurde die SIM-Karte des D2- Netzes verwendet, die durchgehend Internetempfang hatte, sodass bei allen drei Wegen alle Punkte gemessen werden konnten.

Das Gerät Leica GS14 mit dem die SAPOS EPS Messung durchgeführt wurde, wurde von der Hochschule Mainz ausgeliehen. Dieses GNSS- Gerät verfügt lediglich über eine SIM- Karte des D1- Netzes. Die Netzabdeckung dieser SIM- Karte ist in der Eifel sehr lückenhaft, sodass in den Wegen 1 und 2 keine Internetverbindung hergestellt werden konnte. Wenn keine Internetverbindung hergestellt werden kann, ist es nicht möglich eine Verbindung zum SAPOS-Server aufzubauen, wodurch keine Korrekturdaten in Echtzeit empfangen werden können. Dadurch konnten die Punkte der Wege 1 und 2 nicht gemessen werden. Im dritten Weg war eine Netzabdeckung im D1- Netz gegeben, sodass in diesem Weg die Messung aller Punkte möglich war.

Wenn keine der SIM- Karten einen Internetempfang herstellen könnte, bestünde die Möglichkeit den Post Processing Dienst von SAPOS zu nutzen, der jedoch mit der jetzigen Ausstattung der TZ nicht empfangen werden kann.

Gelten Punkte jedoch auch als ausgefallen, wenn die Genauigkeit der GST 2000 nicht erreicht werden kann, fallen bei GNSS Messungen im Wald deutlich mehr Punkte aus. Im Untersuchungsgebiet konnte nur an Lichtungen und an Waldrändern eine Genauigkeit von unter 2 cm erreicht werden. Da es sich bei einer Wegeaufmessung jedoch um unvermarktete Grenzpunkte handelt, die von jedem Bearbeiter subjektiv festgelegt werden, ist es nicht notwendig, dass eine Genauigkeit von unter 2 cm eingehalten wird.

### **5.3.3 GNSS/IMU**

Bei der Messung mit einem GNSS/ IMU- System wird nicht zwischen den drei Wegen unterschieden, da keine feststellbaren Unterschiede bei der Messung erkennbar waren, sodass die Beurteilung der Punktausfälle dieser Methode ebenso zusammenhängend für alle drei Wege durchgeführt wird.

Bei der GNSS/IMU- Messung werden mehrere Messungen pro Sekunde durchgeführt, sodass die Punktdichte von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängt. Fährt das Fahrzeug schnell, sind die Punkte mehrere Meter voneinander entfernt, bei langsamer Fahrt liegen die gemessenen Punkte dichter beieinander. In der durchgeführten Messung haben die gemessenen Punkte bei einer Frequenz von 1 Hz im Durchschnitt einen Abstand von 4,50m. Die Frequenz der Messungen wurde auf 1 Hz beschränkt, damit die Datenmengen nicht zu groß sind und dadurch eine bessere Bearbeitung der Daten möglich ist.

Die Punkte konnten durchgehend gemessen werden, sodass die zu messenden Wege alle mit ausreichend gemessenen Punkten bedeckt sind. Ist die Anzahl der gemessenen Punkte zu gering, kann die Taktrate der ausgewerteten Punkte auf bis zu 600 Hz erweitert werden. Demnach sind bei der Messung mit der GNSS/IMU- Kopplung keine Punktausfälle entstanden.

### 5.3.4 Zwischenfazit der Punktausfälle

Aus den vorangegangenen Untersuchungen nach Nr. 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.3 lässt sich feststellen, dass bei der GNSS- Messung mit Inertialsystem keine Punkte ausgefallen sind. Bei den reinen GNSS- Messungen sind nur bei der SAPOS EPS Messung Punkte ausgefallen, da bei diesem Gerät nur eine D1-SIM- Karte vorhanden war, die nicht überall Internetempfang herstellen konnte. Lediglich bei der photogrammetrischen Auswertung im Stereomodell konnten vermehrt Punktausfälle festgestellt werden. Die Punktausfälle im Stereomodell belaufen sich auf mehr als 50% der gesamten Wegestrecke.

## 5.4 Genauigkeiten der Punktbestimmung

Neumessungen im Flurbereinigungsgebiet müssen grundsätzlich den Anforderungen an das Koordinatenkataster genügen.<sup>15</sup> Abweichungen davon dürfen nur ausnahmsweise erfolgen und müssen im Zuge des Vermessungskonzepts vereinbart werden.<sup>16</sup>

Die Genauigkeit der Punktbestimmung ist wichtig um beurteilen zu können ob das eingesetzte Vermessungsverfahren zur Vermessung von Waldwegen geeignet ist. Bei der Beurteilung der Genauigkeit der Punktbestimmung ist zu beachten, dass es sich bei Wegeknickepunkten um unvermarktete Grenzpunkte handelt und die Festlegung der Wegeknickepunkte subjektive Wahrnehmung des Vermessungsmitarbeiters ist. Wenn zwei verschiedene Personen den gleichen Weg abstecken und aufmessen, werden die Ergebnisse nicht komplett gleich sein. Aus diesem Gründen muss die Genauigkeit der Wegeknickepunkte nicht den Anforderungen an das Koordinatenkataster genügen. Eine Genauigkeit von bis zu 50 cm ist in diesen Fällen durchaus ausreichend wenn gewährleistet werden kann, dass der Grenzverlauf dem Grenzverlauf in der Örtlichkeit entspricht.

### 5.4.1 Photogrammetrie

Die Genauigkeit der Punktbestimmung im Stereomodell hängt nach [Theisen (2019)] von der Erkennbarkeit der Topographie ab. Um zu bestimmen wie genau die Wegeknickepunkte festgelegt wurden, werden die Punkte des Stereomodells mit den terrestrisch bestimmten Punkten verglichen. Die terrestrisch bestimmten Punkte entsprechen den in der Örtlichkeit vorzufindenden Elementen wie Böschungskanten oder anderen topographischen Gegebenheiten. Durch Vergleich der Punkte ist die Abweichung zwischen photogrammetrisch und terrestrisch vor Ort bestimmten Punkten erkennbar. Ein direkter Vergleich der Koordinaten der Punkte ist nicht möglich, da im Stereomodell viel mehr Punkte festgelegt wurden als terrestrisch. Stattdessen werden die Punkte zu Linienobjekten verbunden, die dann miteinander verglichen werden können.

#### 5.4.1.1 Weg 1

Von Norden nach Süden beginnend stimmt die Messung des ersten Teilstücks sehr gut mit der terrestrischen Messung überein. In diesem Bereich ist der Weg sehr gut erkennbar, sodass

---

<sup>15</sup> Vgl. ZusVermFLurb 4.3.1

<sup>16</sup> Vgl. ZusVermFlurb 4.3.3

die Messung der photogrammetrischen Auswertung den Wegekörper nur geringfügig schmaler begrenzt als die der terrestrischen Vermessung.

Im zweiten auswertbaren Bereich weichen die photogrammetrische Auswertung und die terrestrische Vermessung weiter voneinander ab. Zu Beginn des Teilstücks ist talaufwärts eine etwa 50 cm hohe Böschung vorzufinden, auf deren Oberkante mit dem Tachymeter gemessen wurde. Bei der Auswertung im Stereomodell wurde diese Böschung nicht oder falsch erkannt, sodass die Begrenzung des Weges talaufwärts nicht- wie geplant- auf der Böschungsoberkante verläuft, sondern an der Begrenzung des Weges unterhalb der Böschung. Ebenso wurde die untere Kante viel dichter an die Fahrspur gelegt, als das in der Örtlichkeit mit dem Tachymeter vorgenommen wurde.

Der dritte auswertbare Wegebereich ist ebenso schmaler als er bei der terrestrischen Messung ist. Da in diesem Fall keine Böschungen vorhanden sind, sollte bei der Auswertung darauf geachtet werden, dass die Fahrspur nicht die Begrenzung des Weges darstellen sollte. Die Kurve wurde im Stereomodell jedoch viel genauer bestimmt, da dort viel mehr Punkte gesetzt wurden als bei der terrestrischen Messung. Das liegt daran, dass das Legen einzelner Punkte in der Photogrammetrie nur einen Klick dauert. In der Örtlichkeit kann das Aufnehmen mehrerer Kurvenpunkte viel Zeit in Anspruch nehmen, weil nicht genügend freie Sicht zu den Punkten gegeben ist.

Die letzten beiden Bereiche, die im Stereomodell ausgewertet werden konnten, stimmen wiederum sehr gut mit der terrestrischen Messung überein und haben nur geringfügige Abweichungen.

Insgesamt stimmen alle Messungen im Stereomodell mit der terrestrischen Messung überein. Keine Auswertung beinhaltet grobe Fehler, lediglich die Wegebreite wurde meist schmaler gewählt als bei der terrestrischen Vermessung.

#### 5.4.1.2 Weg 2

Im zweiten Weg wurden ebenso alle Teilstücke, die ausgewertet werden konnten, schmaler ausgewertet als dies bei der terrestrischen Vermessung geschehen ist. Die Wegebreite beträgt durchgehend etwa 3,50 m. Da es sich bei allen ausgewerteten Wegen um Hauptabfahrtswege handelt, sollte die Wegebreite inklusive der Bankette jedoch mindestens 5,00 m betragen. Auffallend ist in diesem Weg jedoch, dass die tachymetrisch bestimmte Wegebreite häufig breiter als 5,00 m ist obwohl in diesem Weg keine Böschungen vorhanden waren. Dies zeigt, wie wichtig bei der photogrammetrischen Auswertung das Augenmerk auf eine ausreichende Wegebreite ist.

#### 5.4.1.3 Weg 3

Beginnend von Ost nach West im Verlauf des Weges ist erkennbar, dass das erste ausgewertete Wegestück sehr gut mit der terrestrischen Messung übereinstimmt. Insbesondere die Wegeeinfahrt entspricht exakt der der terrestrischen Messung. In allen darauf folgenden Bereichen ist wiederum erkennbar, dass die Wegebreite teilweise wesentlich schmaler bei der photogrammetrischen Messung gewählt wurde, als bei der terrestrischen. Auch in diesem Weg beträgt die Wegebreite meist nur etwa 3,50 m.

#### 5.4.1.4 Zusammenfassung der photogrammetrischen Auswertung

Die Lage der photogrammetrisch bestimmten Punkte unterscheidet sich an keiner Stelle sehr deutlich von den terrestrisch bestimmten. Dadurch kann ausgeschlossen werden, dass Punkte im Stereomodell grob falsch bestimmt wurden. Auffallend ist allerdings, wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, dass die photogrammetrisch bestimmte Abgrenzung des Weges in allen Bereichen schmaler ist, als die in der Örtlichkeit terrestrisch bestimmte Wegeabgrenzung.

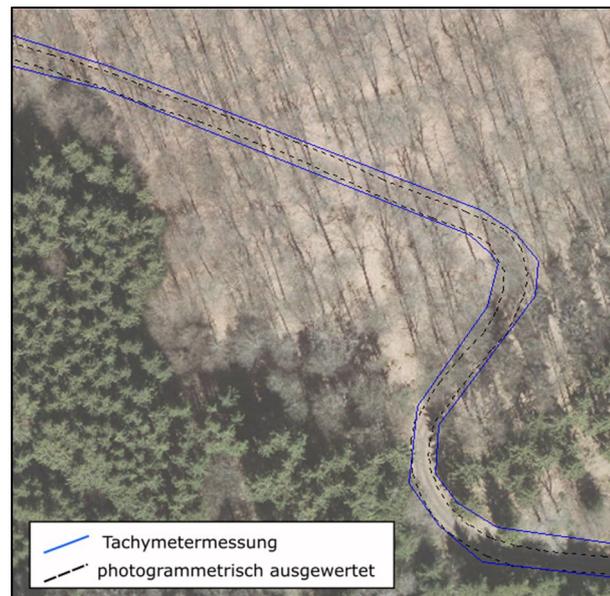


Abbildung 5-15 Vergleich der tachymetrisch bestimmten Trasse mit der photogrammetrisch bestimmten

Im Stereomodell wurde der Weg aufgrund der erkennbaren Fahrspuren abgegrenzt. Da die Fahrspuren jedoch schmaler sind als der Weg, wurde bei der Auswertung im Stereomodell versucht den Weg breiter zu bestimmen. Daraus ergab sich im Durchschnitt eine Wegebreite von etwa 3,50 m. Da es sich bei den untersuchten Wegen jedoch um Hauptabfuhrwege handelt, sollten die Wege inklusive der Bankette nach dem Richtlinien für den ländlichen Wegebau eine Breite von 5 m aufweisen, die bei der photogrammetrischen Auswertung in keinem Fall erreicht wurde.

Bei der terrestrischen Aufmessung des Weges wurde darauf geachtet, dass der Weg immer etwa 5m breit ist. Da bei Böschungen am Wegrand jedoch immer die Böschungsoberkante als Wegeabgrenzung festgelegt wurde, ist der Weg in manchen Bereichen breiter als 5m. Bei der photogrammetrischen Auswertung im Stereomodell sind Böschungskanten im Wald nicht überall genau genug erkennbar, sodass die Bestimmung der Wegeknickpunkte nicht immer optimal auf die Örtlichkeit abgestimmt ist. Das hängt jedoch stark von der Größe der Böschung ab. Ebenso kann die schwierige Erkennbarkeit der Böschungskanten daran liegen, dass der Ausbau der Wege bereits mehrere Jahre zurück liegt und die Böschungskanten und die Böschung selbst bereits erodiert sind. Bei kürzlich ausgebauten Wegen, sind die Böschungskanten noch exakter definiert und werden meist nicht durch so viel Laub und Bewuchs bedeckt.

Insgesamt wurden die Punkte im Stereomodell jedoch in keinem Fall grob falsch bestimmt. Es ist jedoch auffallend, dass die Bestimmung der Wegepunkte meist so erfolgt, dass die Wegebreite zu schmal gewählt wird.

### 5.4.2 GNSS

Die GNSS- Messungen wurde mit zwei verschiedenen Geräten durchgeführt:

1. Leica GS14 unter der Nutzung des Korrekturdatendienstes SAPOS HEPS
2. Leica GS16 unter der Nutzung des Korrekturdatendienstes SAPOS EPS

Bei beiden Geräten wurden die Messungen auf den gleichen Punkten durchgeführt wie die zuvor durchgeführte terrestrische Messung. Dadurch ist es möglich die durch die GNSS-Messung bestimmten Punkte direkt mit den tachymetrisch bestimmten Punkten zu vergleichen und dadurch Schlüsse auf die Genauigkeit der Punktbestimmung zu ziehen.

Die Beurteilung der Genauigkeit der GNSS- Messungen erfolgt über die Abweichung der Delta ( $\Delta$ ) North, der  $\Delta$  East und der Strecke zwischen den Koordinaten aus dem Delta der North- und East- Werte. Dabei wird die Anzahl der Punkte dargestellt, deren Abweichung größer als 0,5 m ist. Es wird der Wert von 0,5 m angenommen, da bei unvermarkten Punkten der Grenzverlauf nach [Heitze, Malzer, Willmes (2016a)] in einer Toleranz von 0,5 m bestimmt werden kann.

Die GNSS- Messungen erfolgten im Frühjahr, sodass die Bäume noch nicht belaubt waren.

#### 5.4.2.1 Weg 1

Der erste Weg wurde mit dem GNSS- Gerät Leica GS14 unter Verwendung von SAPOS HEPS gemessen.

Insgesamt wurden in diesem Weg 108 Punkte gemessen. In der folgenden Tabelle wird die Anzahl der Punkte dargestellt, deren zuvor genannten Abweichungen größer als 0,5 m sind.

Tabelle 5-5 Abweichungen zwischen "Soll"- Koordinaten und SAPOS HEPS Messung in Weg 1

	$\Delta$ East >0,5m	$\Delta$ North >0,5m	Strecke >0,5m
<b>Summe</b>	75	76	94
	69,44%	70,37%	87,04%
<b>gemessene Punkte in Weg 1</b>	108		

Der Unterschied zwischen den Koordinaten ist bei etwa 70 % der Punkte im East- und North-Wert größer als 0,5 m. Die Strecke zwischen den Koordinaten ist sogar bei etwa 87 % größer als 0,5 m.

In Anlage A befindet sich die ausführliche Gegenüberstellung aller Koordinaten des Weges 1. Darin ist ersichtlich, dass die maximale Abweichung des  $\Delta$  East und North bei 9,208 m liegt. Die maximale Abweichung in der Strecke liegt bei 9,213 m. Die Abweichung dabei ist so hoch, dass der Grenzverlauf dadurch grob falsch dargestellt würde.

#### 5.4.2.2 Weg 2

Der zweite Weg wurde ebenfalls nur mit dem GNSS- Gerät Leica GS14 unter Verwendung von SAPOS HEPS getestet.

Insgesamt wurden in diesem Weg 62 Punkte gemessen. In der folgenden Tabelle wird die Anzahl der Punkte dargestellt, deren zuvor genannten Abweichungen größer als 0,5 m sind.

Tabelle 5-6 Abweichungen zwischen "Soll"- Koordinaten und SAPOS HEPS  
Messung in Weg 2

	<b>Δ East &gt;0,5m</b>	<b>Δ North &gt;0,5m</b>	<b>Strecke &gt;0,5m</b>
<b>Summe</b>	37	41	48
	60,66%	67,21%	78,69%
<b>gemessene Punkte in Weg 2</b>	61		

Die Koordinaten unterscheiden sich bei etwa 60 % der Punkte im East- und etwa 67 % der Punkte im North-Wert mit mehr als 0,5 m. Die Strecke zwischen den Koordinaten ist sogar bei etwa 79 % größer als 0,5 m.

In Anlage B befindet sich die ausführliche Gegenüberstellung aller Koordinaten des Weges 2. Darin ist ersichtlich, dass die maximale Abweichung des Δ East und North im zweiten Weg bei 16,595 m liegt. Die maximale Abweichung in der Strecke liegt bei 12,388 m. Das zeigt, dass der prozentuale Anteil der Punkte mit einer Abweichung größer als 0,5 m zwar geringer, dafür die Standardabweichung aber höher ist.

Insgesamt sind jedoch auch in diesem Weg die maximalen Abweichungen so grob falsch, dass von keiner zuverlässigen Messung ausgegangen werden kann.

#### 5.4.2.3 Weg 3

Der dritte Weg wurde mit beiden Geräten gemessen. Insgesamt wurden in diesem Weg mit beiden Geräten 78 Punkte gemessen.

In Tabelle 5- 4 wird die Anzahl der Punkte der Messung mit dem GNSS- Gerät Leica GS14 unter Verwendung von SAPOS HEPS dargestellt, deren Abweichungen größer als 0,5 m sind. Die Tabelle 5-5 zeigt die Anzahl der Punkte mit Abweichungen, die größer als 0,5 m sind bei der Messung mit dem GNSS- Gerät Leica GS16 unter der Verwendung von SAPOS EPS. Da SAPOS EPS nur im dritten Weg getestet werden konnte, wurden im gesamten Test mit SAPOS EPS nur 78 Punkte gemessen.

Tabelle 5-7 Abweichung zwischen "Soll"- Koordinaten und SAPOS HEPS Messung  
in Weg 3

	$\Delta$ East >0,5m	$\Delta$ North >0,5m	Strecke >0,5m
<b>Summe</b>	41	54	65
	52,56%	69,23%	83,33%

<b>gemessene Punkte in Weg 3</b>	78
----------------------------------	----

Tabelle 5-8 Abweichung zwischen den "Soll"- Koordinaten und SAPOS EPS Mes-  
sung in Weg 3

	$\Delta$ East >0,5m	$\Delta$ North >0,5m	Strecke >0,5m
<b>Summe</b>	59	70	76
	75,64%	89,74%	97,44%

<b>gemessene Punkte in Weg 3</b>	78
----------------------------------	----

Bei der Messung mit SAPOS HEPS ist die Strecke zwischen den „Soll“- Koordinaten und den gemessenen bei etwa 83 % der Punkte größer als 0,5 m. Die Abweichungen im East- und North-Wert sind bei etwa 53 % und 69 % der Messungen größer als 0,5 m. Die Gegenüberstellung der Koordinaten des dritten Weges der SAPOS HEPS Messung befindet sich in Anhang C.

Die Messung mit SAPOS EPS ergab sogar bei etwa 98 % der Punkte eine Abweichung in der Strecke zwischen den Koordinaten von über 0,5 m. Auch die Abweichung der East- und North- Werte ist mit etwa 76 % und 90 % deutlich höher als bei der SAPOS HEPS Messung. Die Gegenüberstellung aller Koordinaten der SAPOS EPS Messung befinden sich in Anhang D.

Insgesamt sind die Messungen bei SAPOS HEPS und SAPOS EPS beide so schlecht, dass von keiner zuverlässigen Messung ausgegangen werden kann.

#### 5.4.2.4 Zusammenfassung der Genauigkeit der Punktbestimmung bei GNSS-Messungen

In der folgenden Tabelle werden alle gemessenen Punkte dargestellt, die eine größere Abweichung der  $\Delta$  North und der  $\Delta$  East als 50 cm haben. Außerdem wird die Strecke zwischen den Koordinaten aus dem Delta der North- und East- Werte berechnet und alle Punkte als fehlerhaft angenommen, bei denen die Strecke zwischen den Punkten größer als 50 cm ist. Die Ergebnisse für die komplette Messung mit SAPOS HEPS und SAPOS EPS sind in den folgenden beiden Tabellen dargestellt.

Tabelle 5-9 Abweichungen zwischen "Soll"-Koordinaten und SAPOS HEPS- Koordinaten

	<b>Δ East &gt;0,5m</b>	<b>Δ North &gt;0,5m</b>	<b>Strecke &gt;0,5m</b>
<b>Summe</b>	154	172	208
	62,10%	69,35%	83,87%
<b>gemessene Punkte insgesamt</b>	248		

Tabelle 5-10 Abweichungen zwischen "Soll"-Koordinaten und SAPOS EPS- Koordinaten

	<b>Δ East &gt;0,5m</b>	<b>Δ North &gt;0,5m</b>	<b>Strecke &gt;0,5m</b>
<b>Summe</b>	59	70	76
	75,64%	89,74%	97,44%
<b>gemessene Punkte insgesamt</b>	78		

Sowohl bei der Nutzung des SAPOS-Dienstes HEPS als auch EPS ist deutlich zu erkennen, dass die Koordinaten der GNSS-Messungen in 83,97% der Fälle bei SAPOS HEPS und in 97,44% der Fälle bei SAPOS EPS weiter als 0,5 m von der „Soll“-Koordinate entfernt liegen.

Insgesamt betrachtet liegen die Abweichungen bei SAPOS HEPS im Bereich zwischen 0 cm und knapp 7 m und bei SAPOS EPS zwischen 20 cm und 5 m. Die großen Genauigkeitsunterschiede sind daran zu erklären, dass die Bedeckung im Wald sehr unterschiedlich ist. An Lichtungen und in Bereichen, in denen viel abgeholzt wurde, konnten gute Ergebnisse erzielt werden. In Bereichen mit sehr dichtem Bestand und insbesondere im Nadelwald sind die Ergebnisse mehrere Meter falsch, da nicht genügend Satelliten empfangen werden können und dadurch die Zuverlässigkeit der Ergebnisse sehr schlecht ist.

Die großen Sprünge in den Abweichungen der Koordinaten zueinander zeigen, dass die GNSS- Messungen im Wald nicht zuverlässig sind. Die schlechte Genauigkeit wurde bereits während des Messens vermutet, da die Standardabweichung der Punktbestimmung häufig zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern geschwankt hat.

Die folgende Abbildung zeigt die durch SAPOS HEPS bestimmten Wegepunkte. An diesem Beispiel wird die Unzuverlässigkeit der Ergebnisse der GNSS-Messung verdeutlicht, da linker und rechter Wegrand sich in der Kurve schneiden.

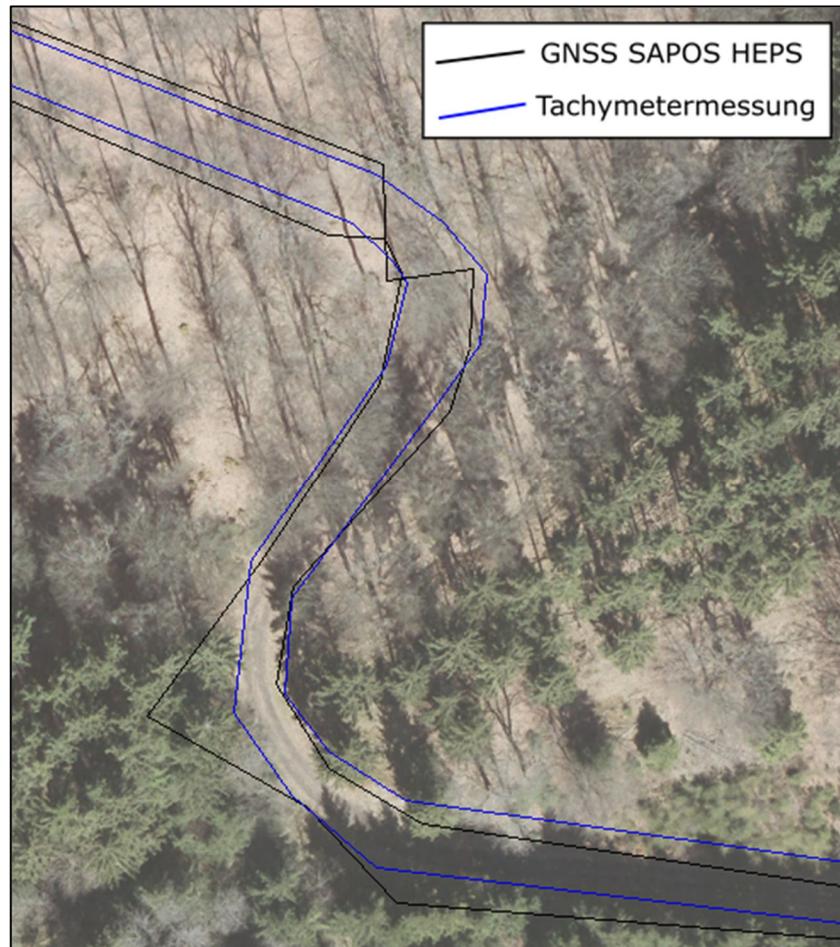


Abbildung 5-16 Vergleich der SAPOS HEPS Messung und der terrestrischen

### 5.4.3 GNSS/IMU Kopplung

Die GNSS- Messung mit Ergänzungssystem wurde mit zwei verschiedenen IMU durchgeführt. Die beiden verschiedenen IMU setzen sich aus unterschiedlichen Materialien zusammen, wodurch sie sich in ihrer Genauigkeit der Punktbestimmung unterscheiden.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung bei der IMU „Compact MEMS Plus“ beträgt, wie in der Abbildung zu sehen ist, mindestens 15 cm, bei der „Compact FOG- III“ mindestens 5 cm bei 60 Sekunden ohne GNSS Signal. Steigerungen zu einer höheren Genauigkeit sind nach Angaben von IGI zu jeder Zeit möglich.

PERFORMANCE, after 60 sec GNSS outage					
Performance*	Compact MEMS**	Compact MEMS Plus	Compact FOG-I*	Compact FOG-II*	Compact FOG-III
Position [m]	0.3	0.15	0.1	0.06	0.05
Roll / Pitch [deg]	0.018	0.012	0.008	0.004	0.003
True heading [deg]	0.03	0.02	0.015	0.01	0.005

\* Post Processing \*\* Upgrades to higher accuracy possible at any time

Abbildung 5-17 Genauigkeit der IMU bei 60 Sekunden ohne GNSS Signal

Bei beiden IMU reicht somit die Genauigkeit der Punktbestimmung aus um Wegepunkte bestimmen zu können. Die Genauigkeit ist insbesondere im Hinblick darauf ausreichend, dass bei der Messung der drei Wege das GNSS Signal zu keiner Zeit für 60 Sekunden ausgefallen ist, sondern immer nur für eine kurze Zeit obwohl die Wege teilweise stark bedeckt waren.

Bei der Auswertung der Genauigkeit der Punktbestimmung bei Messungen mit einem GNSS/IMU- System wird nicht zwischen den drei Wegen unterschieden, da keine feststellbaren Unterschiede bei der Genauigkeit der Messung erkennbar sind, sodass die Beurteilung der Genauigkeit der Punktbestimmung bei GNSS/ IMU- Systemen zusammenhängend für alle drei Wege durchgeführt wird.

Da die Messkonstruktion im Auto verbaut war, konnte bei der Wegeaufmessung nur die Mittellinie der Wege bestimmt werden. Die Wegränder werden als paralleler Linienzug mit jeweils 2,50 m Breite berechnet, sodass der Weg die geforderten 5 m breit ist. Zur Kontrolle der Messungen wurde jeder der drei Wege drei Mal befahren.

#### 5.4.3.1 Weg 1

Die Messungen der beiden IMU entsprechen im ersten Weg meistens der Mittellinie des Weges, sodass der Weg durch die Messungen sehr gut bestimmt werden kann. Ausnahme bildet dabei ein Teilbereich des Weges, der hangaufwärts eine etwa 1,50 m hohe Böschung hat. Dort ist der Abstand von 2,50 m von der Wegemitte zur oberen Begrenzung des Weges nicht korrekt, da die Wegemitte durch die Böschung weiter von der oberen Begrenzung des Weges weg liegt. In diesem Fall wäre es erforderlich den Abstand der Böschungsoberkante zur Wegemitte händig zu messen, sodass ein Absetzen der Mittellinie um diesen Wert möglich ist.

Des Weiteren fällt auf, dass bei Vergleich aller Befahrungen sehr unterschiedliche Messungen erzielt werden, die in Teilbereichen ein bis zwei Meter auseinander liegen. Dies zeigt wiederum, dass die Mittellinie im Auto nicht genau bestimmt werden kann und dass auch beim Versuch der Befahrung der Mittellinie sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden.

Die Unterschiede der Messungen der IMU „FOG- III“ und IMU „MEMSplus“ liegen zwischen 20 und 30 cm. Bei Bewertung des Ergebnisses muss jedoch beachtet werden, dass die verschiedenen IMU im Auto nebeneinander befestigt wurden, sodass die Messung bei gleicher Genauigkeit generell etwa 20 cm neben der anderen Messung liegt. Daraus resultiert, dass die Messungen der verschiedenen IMU in der Genauigkeit in diesem Weg unter 10 cm voneinander entfernt sind.

#### 5.4.3.2 Weg 2

Bei Befahrung des zweiten Weges konnte- wie bereits im ersten Weg- mit beiden IMU überwiegend die Mittellinie des Weges ermittelt werden. In diesem Fall ist eine Ausnahme im Bereich des Nadelwaldes zu sehen. Dort liegt die gemessene Mittellinie beinahe auf dem linken durch terrestrische Messung bestimmten Wegrand. Dort könnte ein Grund für die Abweichung zwischen der Messung mit IMU und der terrestrischen Messung darin liegen, dass bei der terrestrischen Messung in diesem Bereich zu wenige Knickpunkte festgelegt wurden. Im Orthophoto scheint es an dieser Stelle so, als ob der Weg in einer lang gezogenen Kurve verläuft, die in der Örtlichkeit jedoch nicht festgestellt wurde. Dadurch fehlen ein bis zwei Knickpunkte in diesem Bereich, sodass die beiden Messungen voneinander abweichen.

In diesem Weg ist bei Vergleich aller Befahrungen miteinander ebenso ein Unterschied zwischen allen Messungen erkennbar, sodass auch dort die Schwierigkeit der Befahrung der Mittellinie dargestellt wird.

Die Unterschiede der Messungen der zwei verschiedenen IMU liegen immer bei etwa 50 bis 70 cm. Bei Abzug des Messaufbaus im Auto liegen die verschiedenen Messungen zwischen 30 und 50 cm voneinander entfernt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese Entfernung meist durch eine zeitverzögerte Messung ausgelöst wird, weshalb die gemessenen Punkte in Fahrtrichtung hintereinander liegen. Die Querabweichung der Messungen der verschiedenen IMU ist dabei wesentlich geringer. Diese liegen im Bereich von etwa 10 cm und weniger.

#### 5.4.3.3 Weg 3

Im dritten Weg entspricht die Messung mit beiden IMU ebenso größtenteils der Mittellinie des Weges. Im Bereich des Laubwaldes und im Bereich des Nadelwaldes ist jedoch ein längeres Stück zu erkennen, bei dem die Messung im Vergleich zur terrestrischen Bestimmung des Weges verschoben ist. Da jedoch zur Auswertung der Messung immer nur die Messung einer Befahrung angezeigt wird, besteht die Möglichkeit, dass dies aufgrund einer nicht mittigen Fahrweise entstanden ist. Wird die Messung einer anderen Befahrung eingeblendet, fällt auf, dass diese Messfehler dort nicht vorhanden sind, sodass die Verschiebung der Messwerte zum größten Teil aufgrund der Fahrweise entstanden ist.

Die Unterschiede zwischen den Messungen mit der IMU „FOG- III“ und der IMU „MEMSplus“ im dritten Weg bestätigen die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Untersuchungen der Wege 1 und 2. Die Strecke zwischen den Punkten der verschiedenen Messungen liegt in diesem Weg zwischen 20 cm und 1 m. In diesem Weg ist jedoch noch deutlicher zu erkennen, dass dies durch ein unterschiedliches Auslösen der Messungen verursacht wird, da die Punkte der Messungen alle in etwa in einer Linie liegen. Die Querabweichungen, die zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Auswertung der Wege führen würden sind dabei minimal.

#### 5.4.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse mit GNSS/ IMU- System

Die Lage des Weges ist davon abhängig wie genau in der Mitte des Weges gefahren wird. Hindernisse auf dem Weg führen dazu, dass eine Kurve gefahren wird und daher die Mittellinie des Weges nicht mehr stimmt. Bei allen drei Wegen waren keine Hindernisse auf dem Weg zu finden, sodass überall versucht werden konnte in der Mitte zu fahren. Auf der folgenden Abbildung ist zu sehen, dass ein mittleres Befahren trotzdem nicht immer gelang und die Wegeabgrenzung sich dadurch deutlich verschoben hat, sodass zwischen beiden Wegeabgrenzungen ein Unterschied von etwa 1,60 m liegt.



Abbildung 5-18 Gegenüberstellung Tachymetermessung zu GNSS/IMU

Ansonsten konnten bei Befahren der Mittellinie in ebenen Gebieten ohne örtliche Besonderheiten Ergebnisse erzielt werden, die sich mit der Tachymetermessung decken. In der folgenden Abbildung ist ein Teilstück erkennbar, das sehr gut mit der Tachymeteraufnahme übereinstimmt. Dort liegen die Abweichungen zwischen beiden Messungen bei unter 20 cm.

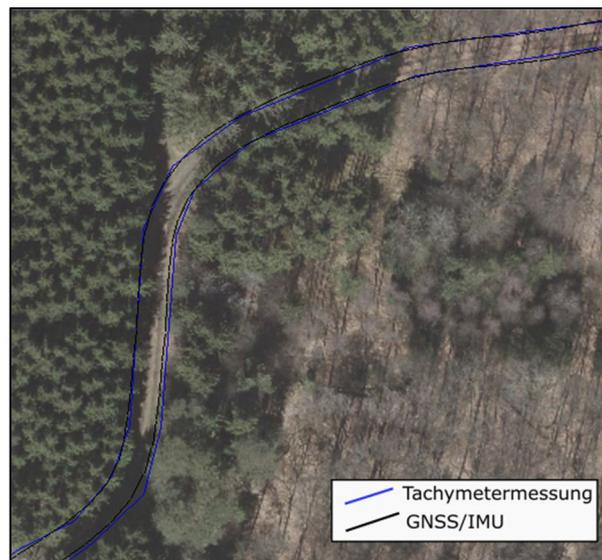


Abbildung 5-19 gut übereinstimmendes Teilstück der IGI- Messung

Insgesamt stimmen etwa 95 % der GNSS/IMU Messungen gut mit den Tachymetermessungen überein. Das wird vor allem dadurch begünstigt, dass das Gelände im Verfahren Struth (Wald) sehr eben ist, sodass an den Wegrändern keine oder nur minimal Böschungen zu berücksichtigen sind. Die restlichen 5 % der nicht gut passenden Messungen sind durch eine nicht mittige Fahrweise zu begründen.

Allgemein ist die Genauigkeit der Punktbestimmung bei allen drei Wegen ausreichend, wenn noch mehr Wert darauf gelegt wird, dass die Wege mittig befahren werden. Ist das Gelände jedoch nicht so eben wie im Verfahren Struth (Wald) sind unterschiedlich große Böschungen zu berücksichtigen. Dort würde sich die Berechnung der Wegränder als sehr problematisch darstellen, weil die Wegränder standardmäßig mit 2,50 m berechnet werden und es dadurch nicht möglich ist auf topographische Besonderheiten einzugehen.

Die Ergebnisse der Genauigkeiten der verschiedenen IMU unterscheiden sich nur geringfügig voneinander, sodass die Genauigkeit beider IMU zur Vermessung von Wegen ausreichend ist.

#### 5.4.4 Zwischenfazit bezüglich der Genauigkeit der Punktbestimmung

Aus den Untersuchungen nach Nr. 5.3.1, 5.3.2 und 5.3.3 ist deutlich erkennbar, dass die GNSS- Messungen mit SAPOS HEPS und SAPOS EPS am ungenauesten sind. Die Ungenauigkeiten führen dazu, dass der Weg an einigen Stellen grob falsch bestimmt wird. Hinzu kommt, dass die GNSS- Messungen am unzuverlässigsten sind, da bei schlecht einsehbaren Bereichen nicht abgeschätzt werden kann wie genau die Messung sein wird. Das liegt daran, dass die Standardabweichungen der Messungen sekundlich variieren und dadurch die Messung des gleichen Punktes zu immer verschiedenen Ergebnissen führen kann.

Bei der Messung mit Inertialsystem sowie bei der photogrammetrischen Auswertung sind keine groben Fehler erkennbar. Die innere Genauigkeit der Punktbestimmung eignet sich bei beiden Messsystemen zur Aufmessung von Wegen. Bei beiden Systemen sind jedoch auch

Differenzen zur tachymetrischen Aufnahme feststellbar. Die photogrammetrische Auswertung führte häufig zu einer zu schmalen Festlegung des Weges. Die Messung mit der IMU führte durch ein nicht mittiges Befahren der Wege zu einer Verschiebung des Weges im Vergleich zu der Tachymeteraufnahme. Bei der Auswertung im Stereomodell sollte folglich darauf geachtet werden, dass die Wege breiter festgelegt werden, sodass sie eine Breite von 5 m erreichen. Bei der GNSS/IMU Messung muss genauer auf die Fahrweise bei Abfahren der Wege geachtet werden, sodass in jedem Fall die Wegemitte befahren wird.

Bei beiden Systemen ist problematisch, dass nicht gut oder gar nicht auf topographische Besonderheiten eingegangen werden kann. Die Auswertung im Stereomodell ermöglicht zwar das Erkennen von Böschungskanten, jedoch ist es nicht möglich beispielsweise Durchlässe zu erkennen, die bei der terrestrischen Messung oft mit aufgenommen werden. Bei der Messung mit Inertialsystem ist die Beachtung von Böschungen und beispielsweise Durchlässen nur sehr schwer möglich, da nur die Mittellinie befahren wird und die Wegränder berechnet werden.

## 5.5 Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit

Ein wichtiger Faktor beim Vergleich verschiedener Vermessungsmethoden sind die Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit. Die Wirtschaftlichkeit der Vermessungsmethoden trägt erheblich zur Effizienzsteigerung der Vermessung in der Flurbereinigung bei. Die Handhabbarkeit ist wichtig, da Vermessungsmethoden nur dann wirtschaftlich sein können, wenn sie einfach zu bedienen sind oder fachpersonal für die verschiedenen Geräte vorhanden ist.

Die Wirtschaftlichkeit wird anhand von gemessenen Punkten pro Stunde Arbeitszeit dargestellt, damit die Vermessungsmethoden in Punkt 5.4.4 miteinander verglichen werden können. Zur Abschätzung eines Kostenfaktors der verschiedenen Messungen werden 50 Euro pro Stunde eines Bearbeiters kalkuliert.

### 5.5.1 Terrestrische Vermessung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung der terrestrischen Vermessung wird durchgeführt um einen Maßstab zu haben, mit dem die innovativen Maßnahmen verglichen werden können.

Die Polygonierung und Messung der 248 bestimmten Wegepunkte dauerte insgesamt drei Arbeitstage mit zweimal 8 Stunden und einmal 8,5 Stunden. Zu der reinen Messzeit muss die Anfahrtszeit hinzugerechnet werden. Da die Entfernung zwischen Dienststelle und dem jeweiligen Verfahren sehr unterschiedlich ist, wird eine mittlere Fahrtzeit von 0,5 Stunden pro Fahrtrichtung festgelegt. Da zur Messung zwei Arbeitskräfte (AK) benötigt werden, muss die Arbeitszeit von 25,5 Stunden verdoppelt werden, sodass der zeitliche Messaufwand insgesamt 51 Arbeitsstunden beträgt.

Tabelle 5-11 Punkte pro Stunde bei terrestrischer Vermessung

gemessene Punkte	Arbeitszeit [h]	Arbeitskräfte	Gesamtarbeitszeit [h]	Punkte pro Stunde
248	25,5	2	51	5

Insgesamt entstanden durch die terrestrische Vermessung Kosten in Höhe von 2.550,00 €, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind.

Tabelle 5-12 Kosten für die terrestrische Vermessung

Gesamtarbeitszeit [h]	Kosten / Stunde [€]	Kosten [€]
51	50,00 €	2.550,00 €

### 5.5.2 Photogrammetrie

Bei der photogrammetrischen Auswertung im Stereomodell wurden 960 Punkte in etwa 9,5 Stunden durch eine AK gemessen. Im Stereomodell wurden jedoch mehr Wege ausgewertet als für die Aufgabenstellung der Bachelorarbeit notwendig gewesen wäre, sodass bei den drei untersuchten Wegen nur 486 Punkte im Stereomodell bestimmt wurden. Hinzu kommt, dass die Messung mehrmals kontrolliert wurde, da der Umgang mit der 3D-Maus etwas Übung erfordert. Demnach wären bei der photogrammetrischen Auswertung im Stereomodell durch Fachpersonal mehr Punkte pro Tag möglich gewesen. Zur Vergleichbarkeit der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Vermessungsmethoden werden nur die Punkte der ausgewählten drei Wege zur Berechnung herangezogen. Die Arbeitszeit wird proportional zur Gesamtanzahl der gemessenen Punkte verringert.

Die gemessenen Punkte im Bezug zur Arbeitszeit werden in der folgenden Tabelle dargestellt

Tabelle 5-13 Punkte pro Stunde mit einer AK

gemessene Punkte	Arbeitszeit [h]	Arbeitskräfte	Punkte pro Stunde
486	5	1	97

Die photogrammetrische Auswertung im Stereomodell muss zentral bei der TZ in Bad Kreuznach erfolgen, da dort die technische Hard- und Software vorhanden ist. Die Auswertung im Stereomodell wird normalerweise durch Fachkräfte der TZ durchgeführt, die dafür spezialisiert sind. Daher wird die benötigte Arbeitszeit um 2 Stunden verringert.

Wenn die Fachkräfte der TZ die Auswertung im Stereomodell übernehmen ohne dass der jeweilige Bearbeiter des Verfahrens dabei, fehlen für die Auswertung die Kenntnisse aus der Örtlichkeit. Dadurch sind besondere örtliche Gegebenheiten und Zwangspunkte nicht bekannt, sodass bei Schwierigkeiten in der Erkennbarkeit im Stereomodell nicht die eigene Wahrnehmung in der Örtlichkeit hinzugezogen werden kann. Dementsprechend wird die Auswertung meistens durch die Fachkraft der TZ in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Bearbeiter des Verfahrens durchgeführt.

Daher muss bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit die Arbeitszeit von zwei AK während der Auswertung angesetzt werden. Außerdem muss die Fahrtzeit von einer AK vom jeweiligen DLR zur TZ mit in die Berechnung einfließen. Das DLR Eifel ist 143 km beziehungsweise

1 Stunde 50 min Autofahrtzeit von der TZ in Bad Kreuznach entfernt<sup>17</sup> und damit das DLR, das die längste Fahrtzeit zur TZ hat. Die Fahrtzeit wird verkehrsbedingt auf 2 Stunden pro Fahrt aufgerundet und der Gesamtarbeitszeit aufaddiert.

Tabelle 5-14 Punkte pro Stunde mit 2 AK bei Auswertung im Stereomodell

gemessene Punkte	Arbeitszeit [h]	Arbeitskräfte	Fahrtzeit [h]	Gesamtarbeitszeit [h]	Punkte pro Stunde
486	5	2	4	14	35

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit ist zu beachten, dass die Gesamtarbeitszeit somit auch von der Entfernung des jeweiligen DLR zur TZ abhängt. Die folgende Tabelle enthält die Kalkulation der Kosten bei der photogrammetrischen Auswertung im Stereomodell.

Tabelle 5-15 Kosten für die photogrammetrische Vermessung

Gesamtarbeitszeit [h]	Kosten / Stunde [€]	Kosten [€]
14	50,00 €	700,00 €

### 5.5.3 GNSS

Die GNSS- Messung der 248 Punkte dauerte insgesamt 12 Stunden und wurde durch eine AK durchgeführt. Etwa ein Viertel der Messung musste aufgrund eines Feldrechnerfehlers wiederholt werden, weshalb eine Arbeitszeit von 8 Stunden festgelegt wird. Die Hin- und Rückfahrt zum Verfahren wird wie bei der terrestrischen Vermessung mit 0,5 Stunden pro Fahrt festgelegt, sodass zusätzlich zu den 8 Stunden Arbeitszeit noch 1 Stunde Anfahrtszeit berechnet wird.

Tabelle 5-16 Punkte pro Stunde mit 1 AK bei GNSS Messung

gemessene Punkte	Arbeitszeit [h]	Arbeitskräfte	Gesamtarbeitszeit [h]	Punkte pro Stunde
248	9	1	9	28

Die folgende Tabelle enthält die Kalkulation der entstandenen Kosten zur Aufmessung der Wege mit GNSS.

Tabelle 5-17 Kosten für die Vermessung mit GNSS

Gesamtarbeitszeit [h]	Kosten / Stunde [€]	Kosten [€]
9	50,00 €	450,00 €

Der Umgang mit GNSS- Geräten ist insbesondere der jüngeren Generation Vermessungsingenieure bereits durch das Studium bekannt, sodass keine weitere Schulung notwendig ist. Die

---

<sup>17</sup> [Google Maps (2019)]

Vermessungsingenieure, die den Umgang nicht gelernt haben, sollten durch eintägige Schulungen und Übungen im Außendienst Kenntnisse über die Handhabbarkeit und Funktionsweise von GNSS vermittelt werden. Da die DLR im Mai 2019 drei neue GNSS Geräte bekommen haben, befinden sich ohnehin mehrere Mitarbeiter in Schulungen, sodass in diesem Fall kein Extraaufwand nötig ist.

#### **5.5.4 GNSS/ IMU**

Bei der GNSS/IMU Messung mussten zunächst 15 min bei möglichst freier Satellitensicht zurückgelegt werden bevor mit der eigentlichen Messung begonnen werden konnte. Am Schluss der Messung wurde diese Prozedur wiederholt. Die Messung der Wege dauerte etwa 90 Minuten, wobei die drei verschiedenen Wege jeweils drei Mal befahren wurden um grobe Fehler ausschließen zu können. Unter Berücksichtigung der zuvor und nach der Messung gefahrenen 15 min dauerte die komplette Messung somit zwei Stunden. Die Auswertung der Messungen erfolgte durch die Firma IGI mit der eigenen Software „TERRAoffice“ im Innendienst, die nach Fertigstellung der Auswertung der Messung die Koordinaten der Punkte als UTM- Koordinaten übermittelten. Für die Auswertung der Daten wird eine Dauer von einer Stunde angesetzt. Die Fahrt zum Verfahren wird wie in Nummer 5.4.2 auf eine halbe Stunde pro Fahrt festgelegt.

Die Messungen wurden während der Fahrt mit einer Taktrate von 600 Hz durchgeführt, was bedeutet, dass 600 Punkte pro Sekunde gemessen wurden. Dadurch sind während der Messung insgesamt mehr als 5 Millionen Punkte entstanden. Da das Bearbeiten und Einlesen dieser Vielzahl von Punkten problematisch ist, stellte die Firma IGI zusätzlich eine Datei mit einer Taktrate von 1 Hz zur Verfügung. Diese Datei umfasste 9111 Punkte. Nach Abzug der mehrfach gemessenen und nicht benötigten Punkte, wurden somit 1130 Punkte in den drei Wegen gemessen.

Bei Betrachtung der festgelegten Punkte pro Stunde ist jedoch zu beachten, dass diese Punkte nur die Mittellinie der Trasse festlegen. Die Wegränder sind als paralleler Linienzug händisch durch den jeweiligen Bearbeiter zu berechnen. Dazu müssen in GRIBS zunächst die Punkte der Messung verbunden werden, dann kann die Funktion der Konstruktion eines parallelen Linienzugs aufgerufen werden. Zur Umsetzung dieser Funktion muss jedes Linienstück der Mittellinie angeklickt werden, das dann um 2,50 m zu beiden Seiten versetzt wird. Dadurch dass das Versetzen der Mittellinie in GRIBS sehr kompliziert durchgeführt wird, wird ebenfalls eine gewisse Zeit in Anspruch genommen. Dies könnte sich jedoch durch die Einführung des Landentwicklungsfachinformationssystem (LEFIS) verbessern und dadurch weniger Zeit in Anspruch nehmen. Daher wird ein zeitlicher Aufwand von einer Stunde zur Gesamtarbeitszeit hinzu addiert.

Tabelle 5-18 Punkte pro Stunde mit 1 AK bei GNSS/IMU Messung

gemessene Punkte	Arbeitszeit [h]	Arbeitskräfte	Gesamtarbeitszeit [h]	Punkte pro Stunde
702	5	1	5	140

Die Kosten für die Vermessung mit dem GNSS/ IMU- System sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-19 Kosten für die Vermessung mit GNSS/ IMU- System

Gesamtarbeitszeit [h]	Kosten / Stunde [€]	Kosten [€]
5	50,00 €	<b>250,00 €</b>

Die Handhabbarkeit des Gerätes ist nur schwer einschätzbar, da die Auswertung der Messung durch die Firma IGI erfolgte. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei Einführung und Schulung in das Gerät und die Software die Messung einfach durchgeführt und ausgewertet werden kann.

### 5.5.5 Zwischenfazit Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit

In den vorangegangenen Untersuchungen zeigt sich, dass alle drei innovativen Entwicklungsmöglichkeiten wesentlich wirtschaftlicher sind als die terrestrische Vermessung. Am wirtschaftlichsten gestalten sich die photogrammetrische Messung im Stereomodell und die Vermessung mit GNSS/IMU.

Bei der Messung mit GNSS/IMU- System konnte ein Kostenvorteil in Höhe von 2.300,00 € erzielt werden, was eine Kosteneinsparung von 90 % bedeutet und damit die höchste erzielte Kosteneinsparung der drei innovativen Vermessungsmöglichkeiten ist.

Tabelle 5-20 Kostenvorteil der GNSS/IMU- Messung

	Messkosten[€]	Kosteneinsparung
Messung Tachymeter	2.550,00 €	<b>2.300,00 €</b>
Messung GNSS/ IMU	250,00 €	

Die GNSS- Messung brachte einen Kostenvorteil zur terrestrischen Vermessung in Höhe von 2.100,00 €. Damit können bei GNSS- Messungen 82 % der Kosten eingespart werden.

Tabelle 5-21 Kostenvorteil der GNSS- Messung

	Messkosten[€]	Kosteneinsparung
Messung Tachymeter	2.550,00 €	<b>2.100,00 €</b>
Messung GNSS	450,00 €	

Durch die photogrammetrische Messung konnte ein Kostenvorteil von 1.850,00 € und damit eine Kosteneinsparung in Höhe von 73 % im Vergleich zur tachymetrischen Vermessung erzielt werden. Bei der Wertung des Kostenvorteils ist jedoch zu beachten, dass nicht alle Bereiche im Stereomodell ausgewertet werden konnten, sodass eine terrestrische Ergänzungsmessung notwendig ist. Dies bleibt jedoch zur Berechnung des Kostenvorteils unbeachtet, da die photogrammetrische Auswertung von den geübten Fachkräften der TZ im Normalfall schneller erfolgt, sodass sich beides ausgleicht.

Tabelle 5-22 Kostenvorteil der photogrammetrischen Messung

	Messkosten[€]	Kosteneinsparung
Messung Tachymeter	2.550,00 €	1.850,00 €
Messung Photogrammetrie	700,00 €	

Ebenso ist bei der Wertung des Ergebnisses der Wirtschaftlichkeit der photogrammetrischen Auswertung im Stereomodell zu beachten, dass die lange Fahrtzeit vom DLR Eifel zur TZ mitbeachtet wurde (4 h x 50,00€ = 200,00€). Bei der Auswertung sehr vieler Punkte würde sich die Einflussnahme der Fahrzeit auf das Ergebnis relativieren, da bei mehrtägiger Auswertung ebenso ein Hotelzimmer in Anspruch genommen werden kann. Außerdem wurde bei der Messung mit zwei AK zur Auswertung kalkuliert. (5 h x 50,00 € = 250,00 €). Ohne Beachtung der Fahrzeit und mit nur einer AK würde die Kosteneinsparung zur terrestrischen Vermessung 2.300,00 € (1.850,00 € + 200,00 € + 250,00 € = 2.300,00 €) betragen und wäre damit genauso groß wie die der Messung mit der GNSS/ IMU- Kopplung.

## 5.6 Fazit des Vergleichs

Nach Durchführung des Vergleichs der innovativen Entwicklungsmöglichkeiten bezüglich der Punktausfälle, der Genauigkeit der Punktbestimmung sowie der Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit ist klar erkennbar, dass GNSS- Messungen im Waldgebiet aufgrund ihrer schlechten Genauigkeit und der Unzuverlässigkeit der Messungen nicht zur Vermessung der Wege in Waldgebieten geeignet sind. Es ist dabei unerheblich, dass die Nutzung von GNSS sehr wirtschaftlich ist, da die Genauigkeit der Messung ein oberstes Ziel bei der Erprobung neuer Messtechniken darstellt.

Die Aufmessung der Wege mit GNSS in Verbindung mit einer IMU liefert zuverlässige Ergebnisse ohne Punktausfälle, die in der Genauigkeit der Bestimmung des Weges jedoch stark davon abhängen ob bei der Befahrung des Weges die Wegemitte befahren werden konnte. Trotzdem stimmte die Bestimmung der Wege an 95 % des Weges mit der tachymetrischen Aufnahme überein. An den anderen 5 % des Weges ist die Abweichung durch eine schlechte Fahrweise zu begründen, da nicht die Mittellinie befahren wurde. Die hohe Übereinstimmung der Messergebnisse mit denen der terrestrischen Messung wird jedoch dadurch begünstigt, dass das Gelände im Verfahren Struth (Wald) sehr flach ist und dadurch an den Wegrändern nur minimale Böschungen vorhanden sind. Daher sind die Wege auf beiden Seiten zur Mittel-

linie meist gleich breit, sodass es ausreicht die Mittellinie zu bestimmen. Insbesondere im Dienstbezirk des DLR Eifel gibt es jedoch viele Waldgebiete die sehr hängig sind. Dort entstehen durch den Ausbau der Wege teils sehr hohe Böschungen. Wird in solch steilem Gelände lediglich die Mittellinie gemessen und die Wegränder zu beiden Seiten um 2, 50m abgesetzt, verläuft die obere Wegeseite mitten durch die Böschung. Da bei der Vermessung der Wege nur Soll- Koordinaten festgelegt werden ist es zunächst nicht schlimm, dass der Grenzverlauf mitten durch die Böschung läuft, denn die Bäume werden trotzdem oberhalb der Böschung gepflanzt. Problematischer ist es jedoch, dass die Grenzsteine zur Festlegung der abgehenden Grenzen relativ schwierig in die Böschung gelegt werden können, da der Grenzstein dort nicht genügend Halt hat und dadurch schneller verrutscht und dadurch die Grenzsicherheit beeinflusst. Gleiches Problem ergibt sich, wenn die berechnete Grenze in den Weg fällt. Dann werden die Grenzsteine der abgehenden Grenzen in die Fahrspur gelegt, sodass die Grenzsteine bei Befahren der Wege verschoben werden oder die Fahrzeuge ihre Reifen kaputt fahren. Ist die Böschung jedoch gleichbleibend breit, kann in der Örtlichkeit gemessen werden, wie weit die Böschungsoberkante von der Wegemitte entfernt liegt. Bei gleichbleibender Böschung wäre somit die Bestimmung der Mittellinie ebenfalls ausreichend. Verändert sich die Höhe der Böschung häufig, ist es nicht möglich die Abstände zur Wegemitte zu messen und somit ist die Bestimmung der Wegemitte nicht ausreichend. Da jedoch auch die Ansicht vertreten werden kann, dass die Böschungen nicht zum Weg sondern zu den oberhalb und unterhalb des Weges liegenden Eigentümern gehören, ist es in diesen Fällen unerheblich ob das Gelände eben oder steil ist. Der Weg hat dann im Normalfall immer in etwa die gleiche Wegbreite, sodass auch dann das Bestimmen einer Mittellinie ausreichend wäre. Die Anwendung der verschiedenen IMU lieferte keine relevanten Genauigkeitsunterschiede, sodass die Anwendung der günstigeren IMU ratsam wäre.

Die Photogrammetrie bildet eine der wirtschaftlichsten Vermessungsmethoden, die durch ausgebildete Fachkräfte im Stereomodell ordnungsgemäß angewendet werden kann. Auch bezüglich der Genauigkeit der Punktbestimmung liegen die Ergebnisse der Stereomodellauswertung in einem zufriedenstellenden Bereich. Bei der Auswertung im Stereomodell sollte darauf geachtet werden, dass die Wege breit genug festgelegt werden und dass die Böschungsoberkanten als Weggrenzen dienen. Zur Überprüfung der Breite des festgelegten Wegekörpers sollten bei der Auswertung häufiger Querkontrollen gemacht werden um eine ausreichende Breite gewährleisten zu können. Die Ergebnisse der Photogrammetrie bezüglich der Punktausfälle zeigen jedoch, dass die Nutzung des Stereomodells nicht dazu führt, dass die terrestrische Vermessung entfällt. Durch die Punktausfälle entstehen immer wieder Lücken, in denen eine terrestrische Aufmessung der Wegeknickepunkte notwendig ist. Da insbesondere bei Verfahren im Dienstbezirk des DLR Eifel die Anfahrt bei der Auswertung im Stereomodell die meiste Zeit in Anspruch nimmt, sollten alle Bereiche, in denen eine Auswertung im Stereomodell möglich ist, ausgewertet werden. Dabei ist es unerheblich, ob viele kleinere Teilbereiche entstehen, in denen die Auswertung nicht möglich ist, da die Auswertung im Stereomodell wesentlich wirtschaftlicher ist als die terrestrische Vermessung. Würden Teilbereiche, in denen immer wieder Punkte bei der photogrammetrischen Auswertung entfallen nicht im Stereomodell ausgewertet, würde sich die Arbeit der terrestrischen Vermessung aufsummieren, sodass letztlich auch bei kleineren Bereichen die terrestrische Vermessung erheblich reduziert werden kann. An diesen Stellen ist es notwendig, dass der letzte photogrammetrisch bestimm-

te Knickpunkte vor einer Lücke und der erste Knickpunkt nach einer Lücke in der Örtlichkeit abgesteckt wird bevor mit der terrestrischen Aufmessung des Wegestücks begonnen wird. Dadurch wird vermieden, dass zwischen der terrestrischen und der photogrammetrischen Messung eine Lücke entsteht oder dass Punkte mehrmals aufgemessen werden.

Die folgende Tabelle dient zur übersichtlichen Darstellung des Vergleichs aller drei Vermessungsansätze bezüglich der Anschaffungskosten, der Genauigkeit und der Wirtschaftlichkeit.

Tabelle 5-23 direkter Vergleich aller drei Vermessungsansätze

Gerät	3D- Stereomodell	GNSS		GNSS/ IMU- System	
		SAPOS HEPS	SAPOS EPS	IMU MEMSplus	IMU FOG- III
zusätzliche Anschaffungskosten	bereits vorhanden	bereits vorhanden		50.000 € (IMU) + 25.000 € (Software) = 75.000 €	250.000 € (IMU) +25.000 € (Software) = 275.000 €
Punktausfälle	in Nadelwäldern wenn kein farblicher Kontrast zwischen Bodenbeschaffenheit des Weges zum umliegenden Gebiet erkennbar ist	wenn mit keiner SIM- Karte eine Internetverbindung hergestellt werden kann		keine	
Genauigkeit	Genauigkeit der Koordinate gut, aber Auswertung des Wegekörpers meist zu schmal	Abweichung bei etwa 84%   98% der Punkte ist größer als 50 cm		95 % der Messungen sind sehr genau; die Abweichungen sind durch eine nicht mittige Fahrweise entstanden	
Wirtschaftlichkeit	73%	Kosteneinsparung von 82%		90%	
	gegenüber der terrestrischen Vermessung				
Anmerkungen	Wirtschaftlichkeit wird durch Fahrtweg zur TZ beeinflusst Wirtschaftlichkeit mit 2 Arbeitskräften berechnet	Genauigkeit sehr schlecht; daher nicht zum Einsatz geeignet		Genauigkeit nur in flachem Gelände ausreichend bei gefährterer Messung  Umbau des Systems zu tragbarer Lösung erforderlich	

## **6 Einsatz von neuen Messtechniken**

Im vorherigen Kapitel wurden die innovativen Entwicklungsmöglichkeiten an ausgewählten Wegen am Verfahren Struth (Wald) bezüglich der Punktausfälle, der Genauigkeit der Punktbestimmung und der Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit untersucht.

Das folgende Kapitel beinhaltet ein Beschaffungs-, Einführungs- und Schulungskonzept zur Einführung eines GNSS Gerätes, das in der Lage ist photogrammetrische Messungen gezielt zu ergänzen.

### **6.1 Beschaffungskonzept**

Die Flurbereinigungsverwaltung RLP entscheidet, dass die Anschaffung eines Vermessungsgerätes zur Aufmessung von Waldwegen durchgeführt werden soll. Dazu werden im Beschaffungskonzept die allgemeinen Grundsätze und Voraussetzungen an das neue Vermessungsgerät beschrieben.

#### **6.1.1 Darstellung der Notwendigkeit der Beschaffung**

In der Flurbereinigungsverwaltung RLP gibt es Bestrebungen, die zu einer Verminderung der terrestrischen Vermessung führen sollen um die Kosten für den vermessungstechnischen Außendienst zu reduzieren. Da der Einsatz der Photogrammetrie im Wald nur bedingt möglich ist, ist es notwendig ein Gerät anzuschaffen, das auch in dichten Waldgebieten messen kann.

#### **6.1.2 Beschreibung des Anwendungs-/ und Einsatzbereiches**

Die Dienstleistungszentren ländlicher Raum setzen das Messsystem im Rahmen der Vermessung von Wegen in Waldgebieten ein. Die Messarbeiten müssen durchgeführt werden um die vorhandenen und neu gebauten Wege in den neuen Bestand zu übertragen.

Da das Gerät eingesetzt wird um unvermarktete Wegeknickepunkte zu bestimmen, liegen die Genauigkeitsanforderungen des Geräts bezüglich der Punktlagegenauigkeit bei unter 50 cm

Das Gerät sollte bei verschiedenen Hängigkeiten und verschiedenem Bewuchs uneingeschränkt nutzbar sein. Die weiteren Vermessungsarbeiten im Verfahrensablauf sollten durch das neue Gerät vereinfacht werden.

#### **6.1.3 Mindestanforderungen an das Vermessungsgerät**

Gefordert wird ein Messsystem, das auf der Grundlage von GNSS misst. Da die Messungen im Wald durchgeführt werden, soll das Messsystem in der Lage sein, Empfangslücken überbrücken zu können, sodass in großen, dicht bewaldeten Gebieten durchgehend eine Messung möglich ist.

Das Messsystem soll mit den bereits vorhandenen GNSS- Empfängern des DLR kompatibel sein, sodass auf die weitere Anschaffung eines GNSS- Empfängers verzichtet werden kann.

Die Messung der Wege soll den örtlichen Grenzverlauf widerspiegeln.

Die Ergebnisse der Messung sollen einfach ausgewertet werden und in UTM-Koordinaten übergeben werden können. Entsprechende Programme zur Auswertung müssen kompatibel mit der vorhandenen Hardware der DLR sein.

Erfüllt das Messsystem die Grundvoraussetzungen, wird es unter Realbedingungen getestet. Die Testbedingungen sollten möglichst verschieden sein und unter anderem Extrembedingungen wie steile und lange Böschungen und lange Wege im Nadelwald beinhalten.

#### **6.1.4 Organisatorische Rahmenbedingungen**

Bei der Lieferung verpflichtet sich der Auftragnehmer bei Bedarf des Auftraggebers eine Einweisung in die Hard- und Software vorzunehmen. Der Auftragnehmer soll einen deutschsprachigen Telefon- Hotline und E-Mail-Support an Werktagen bereitstellen, der bei Problemen in kurzer Zeit reagiert.

#### **6.1.5 Sonstiges**

Die Konformitätserklärung zum CE-Zeichen für die erforderlichen Komponenten ist sicherzustellen. Außerdem ist eine Herstellergarantie von 24 Monaten zu gewährleisten.

### **6.2 Einführungskonzept**

Wenn ein Messsystem anhand des Beschaffungskonzepts auf seine Geeignetheit überprüft wurde und sich als geeignet erwiesen hat, wird es eingeführt. Bei der Einführung eines Messsystems muss es auf die vorhandenen Ressourcen abgestimmt werden. Dabei ist unter anderem die Verwendbarkeit des vorhandenen Zubehörs zu prüfen, sofern es sich nicht um Kompatibilitäten handelt, die im Beschaffungskonzept vorausgesetzt werden.

Die Software des Vermessungssystems muss in die bestehende Hardware der DLR eingearbeitet werden. Wenn möglich wäre die Programmierung einer Schnittstelle zwischen dem internen GIS System und der Auswertesoftware denkbar, sodass eine fließende Datenübertragung möglich ist.

Zur Einführung eines neuen Messsystems ist es wichtig, dass eine konkrete Person zur Konfigurierung und Wartung des Messsystems verantwortlich ist. Diese Person steht bei Problemen in Kontakt zur beauftragten Firma.

Der Standort des neuen Gerätes sollte gewählt werden. Da insgesamt nur ein Gerät angeschafft werden soll, könnte der Standort die TZ in Bad Kreuznach sein. Es sollte jedoch über diese Bachelorarbeit hinaus weitreichendere Untersuchungen bezüglich der Standortauswahl gemacht werden. Dabei sollte anhand der Waldfläche der jeweiligen DLR- Bezirke Aussagen zur überwiegenden tatsächlichen Einsatzregion des Geräts getroffen werden, damit lange Fahrtzeiten reduziert werden können.

### 6.3 Schulungskonzept

Nach der Beschaffung und der Einführung eines Messsystems ist es wichtig, dass entschieden wird, wer das Gerät bedienen soll. Es wäre möglich, dass alle vermessungstechnischen Mitarbeiter geschult werden, damit jeder den Umgang mit dem Gerät erlernt. Andere Möglichkeiten wären, dass nur ein oder zwei Mitarbeiter in der Bedienung des Geräts geschult werden oder, dass die Bedienung des Geräts über einen Werkvertrag an eine außerhalb der Verwaltung stehende Person vergeben wird.

Da das Gerät zentral an einer Stelle gelagert werden soll und da es sich vermutlich nur um die Anschaffung eines Gerätes für alle DLR handelt, ist es nicht nötig, dass alle Mitarbeiter das Gerät bedienen können. Es ist ausreichend, dass ein oder zwei Personen im Umgang des Gerätes geschult werden. Es bietet sich an, dass die Person, die das Gerät bedienen kann die gleiche Person ist, die für die Konfiguration und Wartung zuständig ist. Die Schulung der ein bis zwei Personen sollte direkt durch den Auftragnehmer erfolgen. Die geschulten Personen führen die Messungen für alle DLR im gesamten Land RLP durch. Von der Vergabe eines Werkvertrags sollte abgesehen werden, da dadurch ein Abhängigkeitsverhältnis entsteht, weil keiner der eigenen Mitarbeiter in der Bedienung des Gerätes geschult ist. Je nach Schulungsaufwand wäre ebenso denkbar, dass ein bis zwei Personen an jedem DLR im Umgang mit dem Gerät geschult werden, sodass der Einsatz des Geräts unabhängiger erfolgen kann. Dadurch würde vermieden, dass der Einsatz des Gerätes davon abhängt, ob die ein bis zwei geschulten Personen im Land zur Verfügung stehen, da diese jederzeit auch Urlaub haben oder krank sein könnten.

### 6.4 Vorschlag für die weitere Vorgehensweise des Landes RLP

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit ist ein Vorschlag für die weitere Vorgehensweise der Flurbereinigungsverwaltung RLP auszuarbeiten. Dabei soll dargestellt werden, ob die IMU der Firma IGI zum Einsatz in Flurbereinigungsverfahren geeignet ist.

In Kapitel 5 wurde das GNSS/ IMU- System anhand drei ausgewählter Wege auf Punktausfälle, die erzielten Genauigkeiten und die Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass bei der Messung keine relevanten Punktausfälle entstehen und dass dieses Messverfahren im Test das wirtschaftlichste der drei getesteten Messmethoden war.

Die Genauigkeit der Punktbestimmung liegt bei beiden IMU im geforderten Bereich von unter 50 cm bei 60 Sekunden ohne GNSS- Signal. Bei der Messung wurde jedoch festgestellt, dass das Messen der Mittellinie und anschließende Berechnen der Parallelen im Untersuchungsgebiet zwar hohe Übereinstimmung mit der terrestrischen Messung hatte, es in hängigen Lagen und wechselndem Gelände jedoch zu Schwierigkeiten kommen könnte. Schwierigkeiten könnten dabei sein, dass der Abstand der Wegegrenzen zur Mittellinie immer unterschiedlich ist, sodass das durchgehende parallele Absetzen der Mittellinie um z.B. 2,50 m zu jeder Seite den örtlichen Grenzverlauf nicht widerspiegeln kann. Da es sich beim Grenzverlauf des Wegekörpers nur um unvermarktete Grenzpunkte handelt, deren Koordinaten keiner exakt festgelegten und somit vermarkten Örtlichkeit zugeordnet sind, ist das vorerst nicht schlimm. Bei der Abmarkung der abgehenden Grenzen mit festen Grennzeichen ist das jedoch

von Bedeutung, da der Folgeaufwand zum Einbringen der Grenzsteine sehr hoch ist. Außerdem können sich Probleme ergeben, wenn die Bestimmung des Grenzverlaufs auf dem befahrenen Teil des Weges festgelegt wird. Dann werden die Grenzsteine der abgehenden Grenzen in die Fahrspur gelegt, sodass die Grenzsteine bei Befahren der Wege verschoben werden oder die Fahrzeuge ihre Reifen kaputt fahren. Bei der Messung mit IMU besteht zudem keine Möglichkeit im Waldgebiet Festpunkte festzulegen, die für die Messungen zur Absteckung der abgehenden Flurstücksgrenzen benötigt werden. Daher muss zur Absteckung der neuen Flurstücksgrenzen im Zuge der Vorarbeiten zur Planvorlage beziehungsweise der vorläufigen Besitzeinweisung zunächst das Festpunktfeld durch Polygonzüge verdichtet werden, was in der bisherigen vermessungstechnischen Bearbeitung der Waldflurbereinigung bereits bei der Vermessung der Wege durchgeführt wurde. Da die Polygonierung im Wald mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden ist, sollte der Aspekt der weiteren vermessungstechnischen Bearbeitung nach Aufmessung der Wege unbedingt berücksichtigt werden, da die Effizienz des Systems dadurch gemindert wird.

Um eine vielfältigere Nutzbarkeit der IMU gewährleisten zu können, bei der der Folgeaufwand im Verfahren minimiert wird und die den Grenzverlauf in der Örtlichkeit in jeder Topographie besser erfasst, sollte ein Umbau des fahrbaren Systems auf eine tragbare Lösung durchgeführt werden, mit der die Wegeränder direkt erfasst werden können, indem entlang der Böschungskanten gelaufen wird.

Die tragbare Lösung sollte so umgesetzt werden, dass das System inklusive der Antennen von einer Person getragen werden kann. Vorzugsweise bietet sich dabei das Tragen auf dem Rücken an. Daher wird diese Variante auch als „Rucksack“- Lösung oder „Backpack-solution“ bezeichnet.

Die Möglichkeit einer „Rucksack“- Lösung wird bisher im Mobile Mapping System „Robin“ der Firma GeoSlam umgesetzt. Bei diesem System handelt es sich um einen 3D- Laserscanner, der mittels GNSS- Antennen in Verbindung mit der IMU der Firma IGI eine Georeferenzierung des Scans ermöglicht. Das System „Robin“ kann durch einfachen Umbau der Konstruktion im Gehen, Fahren oder Fliegen zum Einsatz kommen. Dadurch kann das System vielfältig eingesetzt werden. In der folgenden Abbildung ist das System als „Rucksack“- Lösung dargestellt.



Abbildung 6-1 System "Robin" der Firma GeoSlam (Quelle: <https://www.3dlasermapping.com/robin-mobile-mapping-system/>)

Anhand dieses Beispiels ist erkennbar, dass der Umbau der fahrbaren Konstruktion zu einem Rucksack möglich ist. Das umgebaute System zur Aufmessung der Wege könnte ähnlich aufgebaut werden, nur dass das System keinen Laserscanner benötigt.

Da das umgebaute System in der Lage sein soll Passpunkte mit der für Katastermessung erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen, muss das System außerdem die Möglichkeit der Punktzentrierung mit Stativ beinhalten. Diese Umsetzung ist nach Angaben der Firma IGI machbar.

Daraus resultiert, dass das GNSS/ IMU- System der Firma IGI zur Aufmessung der Wege geeignet ist. Es stellt sich die Frage, ob die Anschaffung des Systems rentabel ist.

Im Untersuchungsgebiet wurden beim Test etwa 3.270 m Waldwege vermessen, bei denen sich ein Kostenvorteil von 2.300,00 € zur terrestrischen Vermessung ergab. Im Verfahren Struth (Wald) wurden im Vorwegausbau ca. 10 km Wege gebaut. Hinzu kommt der Ausbau weiterer circa 4 km Waldwege, die im Laufe des Verfahrens zur Erschließung aller Waldflächen notwendig sind. Dadurch würde sich bei der Nutzung der IMU zur Vermessung aller Wege im Verfahren Struth (Wald) ein Kostenvorteil von etwa 9.850,00 € im Vergleich zur herkömmlichen terrestrischen Vermessung ergeben.

Die Anschaffung der IMU „MEMSplus“ kostet 50 Tausend Euro und die der IMU „FOG- III“ kostet 250 Tausend Euro. Die zur Auswertung benötigte Software „TERRAoffice“ kostet zusätzlich 25 Tausend Euro, sodass die Anschaffung der IMU „MEMSplus“ insgesamt 75 Tausend Euro und die IMU „FOG- III“ insgesamt 275 Tausend Euro kostet.

Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung muss neben den Anschaffungskosten für Hard- und Software auch die Kostenansätze für Personalschulung und die Pflege- und Laufenthaltung durch den System- und Softwareanbieter beinhalten. Hier müssen evtl. Wartungsverträge kalkuliert und berücksichtigt werden. Außerdem müssen Kostenansätze für Reparaturen und Ersatz von eventuellen Verschleißteilen berücksichtigt werden. Eine entscheidende Frage ist auch die

Frage der Laufzeit und somit der Abschreibung des Systems. Im Fokus steht hier sicherlich nicht nur die isolierte Betrachtung der Langlebigkeit der Hardware sondern eine Kalkulation der erwarteten Laufzeit innerhalb einer sich ständig verändernden IT- und Geräteentwicklung und der ständig fortschreitenden Anforderungen an solche Systeme. Diese Arbeit kann sich jedoch nur mit den tatsächlichen Anschaffungskosten für Hard- und Software der Systeme befassen, sodass die Wirtschaftlichkeit dann gegeben ist, wenn die Kostenersparnis, die sich durch den Einsatz des Geräts ergibt höher ist als deren Anschaffungskosten.

Da sich bei einer Strecke von etwa 3.270 m ein Kostenvorteil von 2.300,00 € ergibt, ist es zur Erreichung eines Kostenvorteils von 75 Tausend Euro notwendig etwa 106 km zu messen. Zur Erreichung eines Kostenvorteils von 275 Tausend Euro ist es notwendig etwa 391 km zu messen. Da bereits bei der Untersuchung der Genauigkeit der beiden IMU aufgefallen ist, dass die Genauigkeitsabweichungen im Untersuchungsgebiet nur minimal sind, die Preisunterschiede der Anschaffung jedoch sehr hoch sind, rentiert sich die Anschaffung der teureren IMU „FOG- III“ nicht.

Damit die Anschaffung der IMU „MEMSplus“ rentabel ist, müssen nach obiger Berechnung etwa 106 km Waldwege gemessen werden. Würden im Verfahren Struth (Wald) alle Wege, die bereits gebaut wurden und noch gebaut werden mit diesem System gemessen, wäre bereits 1/8 der Kilometer gemessen und die Erreichung des Kontingents von 106 km würde innerhalb absehbarer Zeit erreicht.

In diesem Zusammenhang ist zu überlegen, ob die Anschaffung der IMU als alleinige Vermessungsmethode zur Vermessung der Wege im Wald durchgeführt werden soll oder ob eine Kombination des GNSS/ IMU- Systems mit der Auswertung im Stereomodell angestrebt wird. Die Auswertung im Stereomodell kann mit den vorhandenen Ressourcen des DLR durchgeführt werden und verursacht dadurch keine zusätzlichen Anschaffungskosten. Die Kombination beider Verfahren würde jedoch bedeuten, dass dadurch die Einsatzmöglichkeit des GNSS/ IMU- Systems eingeschränkt wird. Der Vorteil einer alleinigen Anwendung des GNSS/ IMU- Systems- unter der Voraussetzung des Umbaus des Systems zu einer tragbaren Lösung- ist, dass die Örtlichkeit durchgehend gut erfasst werden kann, da die einzelnen Wegeseiten dadurch einzeln abgelaufen werden können.

Insgesamt betrachtet ist die Rentabilität der Anschaffung daher- unabhängig davon ob eine Kombination der Messverfahren vorgenommen würde- davon abhängig, wie viel Kilometer Waldwege in Rheinland- Pfalz aufgemessen werden. Werden so viele Kilometer Waldwege gemessen, dass anhand der vorgenommenen Kalkulation, die aus der Befahrung der untersuchten Wege berechnet wurde, innerhalb weniger Jahre so viele Kosten eingespart werden, dass der Anschaffungspreis der IMU inklusive Software erreicht wird, sollte Kontakt mit der Firma IGI aufgenommen werden um den Preis, der sich aus dem Umbau des Messsystems ergibt zu verhandeln.

Zusammenfassend ist das Messsystem, insbesondere nach dem Umbau zu einer tragbaren Lösung, dazu geeignet die terrestrische Vermessung in Bezug auf die Vermessung von Wegen zu ersetzen. Trotzdem sollte vor der Anschaffung des Geräts detailliert untersucht werden wie viel Bedarf im Land RLP zum Einsatz des Systems besteht damit festgestellt werden kann ob die Anschaffung lohnenswert ist.

## 7 Zeitpunkt der Befliegung

Im vorherigen Kapitel wurde ein Beschaffungs-, Schulungs- und Einführungskonzept zur Beschaffung eines neuen Messgeräts zur Aufmessung von Wegen aufgestellt. Zusätzlich wurde ein Vorschlag zur weiteren Vorgehensweise des Landes RLP entwickelt. Im folgenden Kapitel wird der Zeitpunkt der Befliegung im Verfahrensablauf überdacht. Dabei wird analysiert ob die Durchführung einer zweiten Befliegung sinnvoll ist und im nächsten Schritt ob dann auf die erste Befliegung verzichtet werden könnte.

### 7.1 Möglichkeit der zweiten Befliegung

In der Nummer 5.6 wurde darauf eingegangen, dass die Nutzung des 3D- Stereomodells sich als sinnvoll und wirtschaftlich erwiesen hat. Der Einsatz der Photogrammetrie zur Bestimmung der Wegeknickpunkte kann jedoch nur zum Einsatz kommen, wenn die Befliegung zu einem Zeitpunkt durchgeführt wird, bei dem die Wege bereits ausgebaut sind. In reinen Waldverfahren könnte dies unter bestimmten Voraussetzungen auch durch die Umsetzung des Modells 2 erreicht werden. Da es sich jedoch oft nicht um reine Waldverfahren handelt sondern um eine Kombination aus land- und forstwirtschaftlichen sowie gegebenenfalls Ortslagenflächen, müssten die Verfahren nach Ausbau der Wege erneut überflogen werden. Dadurch würden nach [Theisen (2019a)] Extrakosten in Höhe von etwa 4-6 Euro/ha entstehen. Am Beispiel des Verfahrens Struth (Wald), das 681 ha groß ist, würden dadurch Kosten zwischen 2.724 Euro und 4.086 Euro entstehen. Hinzu kommen vorher der Zeitaufwand der erneuten Signalisierung und die Georeferenzierung und Auswertung im Nachhinein. Bei Flurbereinigungsverfahren mit großen Waldanteilen sind die zusätzlich entstehenden Kosten jedoch im Verhältnis zur terrestrischen Vermessung des gesamten Wegenetzes im Wald als geringfügig einzuschätzen. Durch eine erneute Befliegung entsteht zusätzlich der Vorteil, dass Signalisierungspunkte auf die neu gebauten Wege gelegt werden können. Dadurch reduziert sich der Aufwand der restlichen terrestrischen Vermessungsarbeiten ebenso erheblich, da genügend AP aus der Signalisierung im Waldbereich vorhanden sind und so weitestgehend auf eine zeitintensive Polygonierung verzichtet werden kann. Problematisch ist jedoch, dass die neuen Wege nicht alle zeitgleich gebaut werden können. Daher sollte darauf geachtet werden, dass das Wegenetz im Wald, das aus Sicht einer frühzeitigen Erschließung und aus Sicht einer maximalen Vermessungskosteneinsparung direkt im Anschluss an die Genehmigung des Plans nach § 41 FlurbG ausgebaut wird. Die Befliegung sollte dann im Anschluss an den Ausbau des Hauptwegenetzes im Wald erfolgen, damit keine zeitliche Verzögerung des Verfahrensablaufs entsteht. Bei einer erneuten Befliegung reicht es aus, die Befliegung auf die Waldgebiete zu beschränken, sofern das als planerisch sinnvoll erscheint, da die Vermessung in der Feldlage durch die Nutzung von GNSS wesentlich effizienter erfolgen kann als im Wald. Die zweite Befliegung findet demnach zwischen den Verfahrensschritten des genehmigten Plans nach § 41 FlurbG und dem Planwuschtermin statt.

## 7.2 Verzicht auf die erste Befliegung

Zwischen beiden Befliegungen finden somit der Feldvergleich, die Wertermittlung, und die Aufstellung des Wege- und Gewässerplans statt, weshalb in Frage gestellt werden sollte ob bei neu angeordneten Verfahren auf die erste Befliegung verzichtet werden kann.

Der Zeitpunkt der ersten Befliegung ist historisch bedingt daraus entstanden, dass in Zeiten der Analogtechnik eine erste verlässliche und aktuelle Planungsgrundlage geschaffen werden musste, die den Aufwand für den Feldvergleich erheblich vermindern und damit die örtlichen Arbeiten in der Wertermittlung auf geometrisch einwandfreien Kartengrundlagen durchgeführt werden konnten.<sup>18</sup> Heutzutage stellt das LVerGeo DOP mit einer Bodenauflösung von 20 cm zur Verfügung<sup>19</sup>, die in einem 2-Jahresturnus erneuert werden. Die durch die Befliegung des DLR erzeugten Luftbilder haben nach [Theisen (2019b)] eine Bodenauflösung von 5-7 cm und haben dadurch eine höhere Genauigkeit als die des LVerGeo. Es stellt sich jedoch die Frage ob für den Feldvergleich, die Durchführung der Wertermittlung und die Planung des Wege- und Gewässerplans eine höhere Genauigkeit und eine Befliegung ohne Belaubung im Frühjahr notwendig sind.

Der Feldvergleich wird zu Beginn eines Verfahrens durch das DLR durchgeführt. Dabei wird überprüft ob die tatsächliche Nutzung (tN) der Flurstücke dem entspricht, was in der Karte erkennbar ist. Die tatsächliche Nutzung beschreibt die zum Zeitpunkt der Erhebung vorgefundene dauerhaft dominierende anzunehmende Art der Nutzung.<sup>20</sup> Für die Rheinland- Pfalz weite Erfassung der tN sind nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 LGVerMDVO die VermKÄ zuständig. Die tN wird nach Ziffer 1.5.1 RitN alle drei Jahre erneuert. Demnach kann das DLR die Daten der VermKV verwenden und sich neben den DOP auf die Registrierung der tatsächlichen Nutzung stützen. Durch die stetigen Erneuerungen der DOP in Verbindung mit der Registrierung der tatsächlichen Nutzung durch die VermKV, eignen sich die Produkte ebenso zur Durchführung des Feldvergleichs.

Zur Durchführung der Wertermittlung ist es notwendig einwandfreie Kartengrundlagen zu haben, in denen die Ergebnisse der Stichproben eingezeichnet werden können. Im Bereich der Feldlage ergeben sich bei der Durchführung der Wertermittlung keine Unterschiede zu den seitens des DLR eigens erstellten DOP, da aufgrund des meist groß gewählten Maßstabs die Bodenauflösung der verschiedenen Karten kaum unterscheidbar ist. Lediglich im Waldbereich könnten Schwierigkeiten bei der Wertermittlung auftreten, da die Orientierung im Luftbild erschwert wird, weil aufgrund der Belaubung in den DOP des LVerGeo schwieriger zwischen Laub- und Nadelwald unterschieden werden und Details wie z.B. kleine Kahlstellen, sehr enge Bestockung, einzelne Nadelbäume und Hecken- und Strauchstrukturen und topographische Besonderheiten schlechter erkannt werden können als bei den DOP des DLR ohne Belaubung. Da jedoch auch im DOP des LVerGeo Farbunterschiede zwischen Nadel- und Laubwald erkennbar sind, sollte dieser Nachteil ausgleichbar sein. Außerdem soll die Wertermittlung bei forstwirtschaftlichen Nutzflächen in Zukunft auf Feldrechnern mit GNSS Empfang erfolgen, sodass mit dem Feldrechner eine Orientierung auf 5- 10 m möglich sein wird.

---

<sup>18</sup> Vgl. [Thomas (2014)]

<sup>19</sup> Vgl. [LVerGeo(2019)]

<sup>20</sup> Vgl. RitN Ziffer 1.3

Durch diese Verbesserung sind die DOP des LVerGeo ebenso zur Durchführung der Wertermittlung ausreichend.

Als letzter wichtiger Punkt diene die Befliegung im frühen Zeitpunkt des Verfahrens als Planungsgrundlage zur Erstellung des Wege- und Gewässerplans. Neben der höheren Genauigkeit haben die DOP des DLR ebenso den Vorteil, dass die Befliegung im Frühjahr stattgefunden hat, sodass noch keine Belaubung vorhanden ist. Dadurch sind in Laubwäldern bereits bestehende Fahrspuren oder ausgebaute, nicht katastrierte Wege erkennbar. Das ist bei den DOP des LVerGeo nur bedingt möglich, da die Bodensicht erheblich durch Laub beeinträchtigt wird. Um diesen Nachteil auszugleichen könnten die neu von der TZ zur Verfügung gestellten Schummerungskarten behilflich sein.

Schummerungen werden aus den DGM- Daten, die durch eine „Abtastung“ der Erdoberfläche durch einen Laserstrahl entstanden sind, erzeugt. Schummerungen visualisieren die Struktur des Geländes durch Reflexion einer imaginären Lichtquelle. Dabei erscheinen Erhebungen hell, Ebenen mittel und abgewandte Seiten dunkel. Nach [König (2018a)] bieten Schummerungskarten insbesondere bei Waldflurbereinigungsverfahren ein enormes Potential zur Verfahrensbearbeitung, da topographische Strukturen wie beispielsweise Wege, Gewässer oder Bruchkanten anhand der Schummerungskarte interpretiert werden können. Die Schummerungskarten werden durch das LVerGeo in einem 10\*10 km Raster zur Verfügung gestellt und in einem Turnus von 9 Jahren erneuert.

In der folgenden Abbildung ist die Erkennbarkeit des Weges 2 aus dem in Kapitel 5 untersuchten Verfahren Struth (Wald) dargestellt. Zur besseren Auffindbarkeit der Wegespur wurde der Weg umrandet.

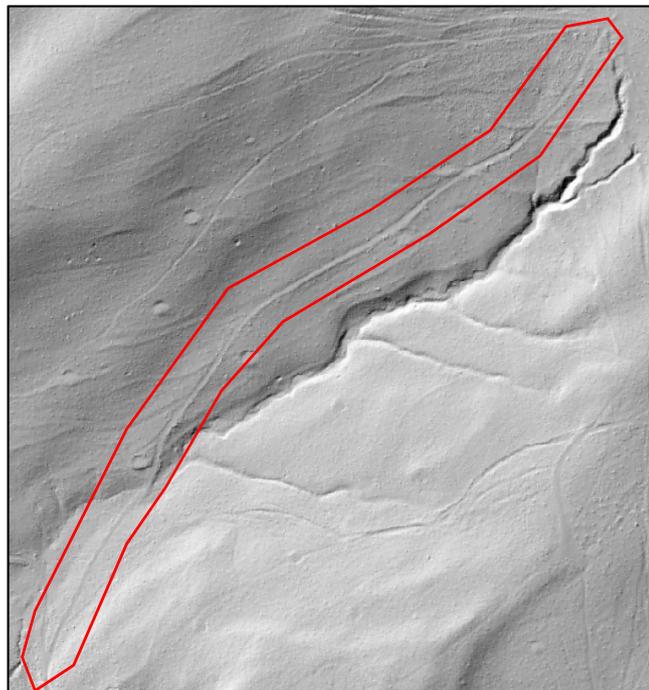


Abbildung 7-1 Schummerungskarte des Weges 2 des Verfahrens Struth  
(Wald)

In diesem Beispiel ist der Verlauf des Weges deutlich zu erkennen, obwohl die Topographie des Wegekörpers sich nicht deutlich von der des umliegenden Bereichs differenziert. In geneigterem Gelände unterscheidet sich die Topographie der Wege deutlich von der des umliegenden Bereichs, sodass dort die Wege noch besser in der Schummerungskarte erkennbar sind.

Auch Gewässer sind leicht in der Abbildung zu sehen und können so problemlos in den Wege- und Gewässerplan übernommen werden.

Insgesamt können durch die Nutzung der Schummerungskarten die Nachteile, die sich aus der Nutzung der DOP des LVerGeo ergeben hinreichend kompensiert werden, sodass die Planung des Wege- und Gewässerplans nicht beeinträchtigt wird.

Zusammenfassend können alle Verfahrensschritte, die vor der angedachten zweiten Befliegung stattfinden ebenso mit den DOP des LVerGeo durchgeführt werden. Daher ist der Zeitpunkt der Befliegung als einer der ersten Schritte im Verfahren zum jetzigen Stand der Technik nicht mehr zeitgemäß, sodass der Zeitpunkt der ersten Befliegung auf einen späteren Zeitpunkt im Verfahrensablauf verschoben werden kann und somit auf eine doppelte Befliegung verzichtet werden kann. Demnach sollte die Befliegung dann durchgeführt werden, wenn bereits Wege ausgebaut sind.

## 8 Zusammenfassung

Die Herstellung der Grenzsicherheit und Erschließung der Flurstücke ist ein vorrangiges Ziel der Waldflurbereinigung. Sie kann dabei nur durch eine einwandfreie Vermessung und Abmarkung der Flurstücksgrenzen erreicht werden. Auch heute wird ein Großteil der Vermessung im Wald durch terrestrische Ergänzungsmessungen durchgeführt, die einen hohen Arbeitsaufwand und damit hohe Kosten verursachen. Zur Reduzierung der terrestrischen Vermessung wurden drei verschiedene innovative Vermessungsansätze an ausgewählten Waldwegen im Waldflurbereinigungsverfahren Struth (Wald) untersucht.

Die Messung mit GNSS unter der Verwendung von SAPOS HEPS und SAPOS EPS sind beide zur Vermessung im Wald nicht geeignet, weil sie den Genauigkeitsanforderungen von 50 cm nicht entspricht. Dabei ist es unerheblich ob SAPOS HEPS oder SAPOS EPS verwendet wird.

Zusätzlich zur reinen GNSS- Messung wurde ein GNSS Gerät in Verbindung mit einer IMU der Firma IGI getestet. Die IMU ist in der Lage Phasen ohne GNSS- Empfang zu überbrücken und kann dadurch Messungen im Wald durchführen. Das GNSS/ IMU- System wurde in einem Auto installiert. Die Messung erfolgte durch Befahren der Wege, sodass die Mittellinie der Wege gemessen wurde. Die Ergebnisse der Messung entsprechen den Genauigkeitsanforderungen von 50 cm, die bei der Aufmessung der Wege gefordert sind. Da das Untersuchungsgebiet nur eine geringe Querneigung aufweist, reicht die Vermessung der Mittellinie aus, da die Mittellinie um die Hälfte der Wegebreite parallel versetzt werden kann. Im Untersuchungsgebiet ist das GNSS/ IMU- System zur Vermessung der Wege somit geeignet um die terrestrische Vermessung zu reduzieren. In topographisch schwierigeren Gebieten mit viel unterschiedlicher Querneigung ist der Abstand der Böschungsoberkante zur Mittellinie immer unterschiedlich groß, sodass der örtliche Grenzverlauf durch die Messung der Mittellinie nicht genau genug dargestellt wird und dadurch das Messen der Mittellinie nicht ausreichend ist. Außerdem können bei Befahren der Wege keine Festpunkte gemessen werden, sodass trotzdem eine Polygonierung zur Verdichtung des Punktfeldes durchgeführt werden muss, damit die Absteckung der neuen Flurstücksgrenzen erfolgen kann. Die Kostenersparnis, die durch die Messung mit dem GNSS/ IMU- System erfolgt, wird durch diesen Mehraufwand wieder verringert. Dementsprechend sollte das Messsystem so umgebaut werden, dass es getragen werden kann und so ein Ablaufen der Wege möglich ist. Dadurch kann die Topographie der Wege besser beachtet werden, wodurch ein Einsatz des Gerätes in jedem Gelände möglich ist. Außerdem besteht bei der tragbaren Lösung die Möglichkeit durch z.B. ein Stativ genau vordefinierte Punkte zu messen, wodurch eine Vermessung von Festpunkten möglich ist. Daraus resultiert, dass das GNSS/ IMU- System die terrestrische Vermessung in Bezug auf die Vermessung der Wege ersetzen kann. Die Anschaffung des Messsystems setzt jedoch voraus, dass die Einsatzmöglichkeiten des Messsystems im Land RLP so hoch sind, dass die Anschaffung des Geräts rentabel ist.

Die Forschungsfrage, ob die Vermessung einer Mittellinie und das anschließende Berechnen der Wegränder ausreichen, wird damit beantwortet, dass dies von der Topographie des Ge-

ländes, in dem die Wege gebaut wurden, abhängt. In flachem Gelände und gleichbleibend steilen Gelände mit gleich breiten Böschungen ist die Vermessung der Mittellinie ausreichend. In bewegtem Gelände mit unterschiedlich breiten Böschungen ist die Vermessung der Mittellinie nicht ausreichend, weil dadurch der Grenzverlauf örtlich nicht richtig wiedergegeben werden kann.

Die photogrammetrische Auswertung im Stereomodell ist ebenso wie die photogrammetrische Auswertung im Orthophoto eine wirtschaftliche Messmethode, deren Genauigkeit der Punktbestimmung zur Aufmessung von Wegen geeignet ist. Dadurch ist sie eine gute Möglichkeit die terrestrische Vermessung zu reduzieren. Die Punktausfälle im Bereich von Nadelwäldern und Wegen, bei denen keine Auswertung möglich ist, führen dazu, dass die Photogrammetrie die terrestrische Vermessung nicht ersetzen, diese jedoch gezielt ergänzen kann. Durch Punktausfälle entstehen bei der photogrammetrischen Auswertung immer wieder Lücken, in denen keine Auswertung möglich ist. Daraus leitete sich die Forschungsfrage ab, ob die photogrammetrische Auswertung auch dann angewandt werden sollte, wenn immer wieder Lücken vorhanden sind, in denen keine Auswertung über das 3D- Stereo Modell möglich ist. Das Ergebnis ist, dass es trotzdem sinnvoll ist alle Punkte, die ausgewertet werden können, im Stereomodell zu messen, da die Photogrammetrie wesentlich wirtschaftlicher ist als die terrestrische Messung.

Anhand dieser Untersuchungen konnte in Bezug auf die erste formulierte Forschungsfrage ausgearbeitet werden ob es Möglichkeiten gibt die terrestrische Vermessung zu reduzieren und durch schnellere, innovativere Verfahren zu ergänzen. Von den drei getesteten innovativen Vermessungsansätzen ist die GNSS- Messung mit Inertialsystem dazu geeignet die terrestrische Vermessung im Rahmen der Aufmessung von Wegen komplett zu ersetzen, wenn ein Umbau des Systems zu einer tragbaren Lösung stattgefunden hat. Die photogrammetrische Auswertung im Stereomodell ist eine innovative Möglichkeit um die terrestrische Vermessung gezielt zu ergänzen. Lediglich die GNSS- Messung mit SAPOS HEPS und SAPOS EPS ist auf Grund ihrer schlechten Punktgenauigkeit nicht dazu geeignet die terrestrische Vermessung im Wald zu reduzieren. Insgesamt sind daher die GNSS- Messung mit Inertialsystem und die photogrammetrische Auswertung dazu geeignet die terrestrische Vermessung zu reduzieren und gezielt zu ergänzen.

Um eine photogrammetrische Auswertung vornehmen zu können, ist Grundvoraussetzung, dass eine Befliegung der ausgebauten Wege stattgefunden hat. Da die photogrammetrische Auswertung viel wirtschaftlicher ist als die terrestrische Vermessung, ist eine erneute Befliegung kostengünstiger als eine terrestrische Vermessung der kompletten Waldflächen. Daher kann die zweite gestellte Forschungsfrage ob die Verfahren nach Ausbau der Wege erneut überflogen werden sollten um die Wege photogrammetrisch auswerten zu können damit beantwortet werden, dass bereits beflogene Verfahren mit großen Waldflächen erneut überflogen werden sollten. Bei großen zusammenhängenden Waldflächen reicht eine Befliegung nur der Waldflächen aus, da in der Feldlage mit GNSS eine ebenso wirtschaftliche Alternative zur terrestrischen Vermessung besteht.

Bei Verfahren, die noch nicht beflogen sind und bei neuen Verfahren sollte der Zeitpunkt der Befliegung im Verfahrensablauf nach hinten geschoben werden, sodass die Befliegung erst nach Ausbau der notwendigsten Wege erfolgt. Alle vorherigen Verfahrensschritte sollen auf

Grundlage der DOP des LVerGeo mit 20 cm Bodenauflösung bearbeitet werden. Zusätzlich kann zur Bearbeitung des Plans nach § 41 FlurbG die Schummerungskarten des LVerGeo herangezogen werden. Dementsprechend kann die vierte Forschungsfrage, ob eine Befliegung als einer der ersten Schritte im Verfahren zum jetzigen Stand der Technik noch sinnvoll ist, klar verneint werden. Der Zeitpunkt der Befliegung als einer der ersten Schritte im Verfahren ist nicht mehr zeitgemäß, sodass die Befliegung erst nach Ausbau der wichtigsten Wege durchgeführt werden sollte.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass von den drei getesteten innovativen Messverfahren lediglich die Messung mit GNSS nicht zu Messungen im Wald geeignet ist. Die photogrammetrische Auswertung im Stereomodell sowie die GNSS- Messung mit Inertialsystem der Firma IGI sind zur Vermessung im Wald geeignet

Dadurch können weitere Schritte getätigt werden, die zur Verringerung der terrestrischen Vermessung und damit zur Effizienzsteigerung in der Waldflurbereinigung dienen.

## Literaturverzeichnis

- Baadte, Norbert** (2014): Waldflurbereinigung Thalfröschen. Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung RLP, NKL V Heft 55/ 2014, S.39
- Bald, Christine** (2010): digitale Bachelorarbeit. Untersuchungen neuer Vorgehensweisen und Modellvorhaben zur Waldflurbereinigung in Nordrhein- Westfalen und Rheinland- Pfalz
- Bald, Christine** (2010a): digitale Bachelorarbeit. Untersuchungen neuer Vorgehensweisen und Modellvorhaben zur Waldflurbereinigung in Nordrhein- Westfalen und Rheinland- Pfalz, S.33
- Bald, Christine** (2010b): digitale Bachelorarbeit. Untersuchungen neuer Vorgehensweisen und Modellvorhaben zur Waldflurbereinigung in Nordrhein- Westfalen und Rheinland- Pfalz, S.31
- BMS Consulting GmbH** /(2012): Leistungsvergleich nach Art.91d GG am Beispiel des Projektes „Wertschöpfungsanalyse der Waldflurbereinigung“- Ergebnisse der Sonderarbeitsgruppe Leistungsvergleich des AK1 der ARGE Landentwicklung, S.54
- Durben, Harald** (1996): Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig). Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung RLP, NKL V Heft 25, S.81-86
- Durben, Harald** (2014): Photogrammetrie in der Landentwicklung- Grundlage effizienter Landentwicklungsprozesse. Schriftenreihe Deutsche Landeskulturgesellschaft- DLKG, Sonderheft 7, S. 70-79
- FlurbG** (1953): Flurbereinigungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. März 1976 (BGBl. I S. 546), das zuletzt durch Artikel 17 des Gesetzes vom 19. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2794) geändert worden ist
- Goecke, Harald** (2018): Grenzsteine. <https://goecke.de/Produkte/Vermarktungsmaterial/VARIO-Grenzmarken/VARIO-PLUS-Grenzmarken/> (Datum des Zugriffs: 30.06.2019)
- Google Maps** (2019): Route vom DLR Eifel zum DLR Rheinhessen- Nahe- Hunsrück. <https://www.google.com/maps/dir/Dienstleistungszentrum+l%C3%A4ndl.+Raum,+Westpark+11,+54634+Bitburg/Dienstleistungszentrum+L%C3%A4ndlicher+Raum+Rheinhessen-Nahe-Hunsr%C3%BCck,+R%C3%BCdesheimer+Stra%C3%9Fe,+Bad+Kreuznach/@49.8843767,6.0625154,8z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x47bffc6e118f0179:0x5e833e05b2a02d3a!2m2!1d6.5344786!2d49.9439291!1m5!1m1!1s0x47bdfa0e577b75ef:0x640c5a21eb8cde61!2m2!1d7.8463619!2d49.849955!3e0> (Datum des Zugriffs: 12.06.2019)
- Helle, Ralf** (2018): Einsatz von Laserscanning in der Waldflurbereinigung. Schriftenreihe DLKG Heft 16, 2018; S.37-48
- Heitze, Ulrike, Malzer, André, Willmes, Martin** (2016): Einsatz von modernen Technologien in der Flurbereinigung. Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen NRW, NÖV Ausgabe 2/ 2016, S.32-41

**Heitze, Ulrike, Malzer, André, Willmes, Martin** (2016a): Einsatz von modernen Technologien in der Flurbereinigung. Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen NRW, NÖV Ausgabe 2/ 2016, S.33

**Hinz, Silvia Arabella** (2012): Dissertation. Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung

**Hinz, Silvia Arabella** (2012a): Dissertation. Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung; S. 73

**Hinz, Silvia Arabella** (2012b): Dissertation. Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung, S. 74

**Hinz, Silvia Arabella** (2012c): Dissertation. Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung, S. 48

**Hinz, Silvia Arabella** (2012d): Dissertation. Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung, S. 217

**Hinz, Silvia Arabella** (2012e): Dissertation. Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung, S. 48

**IGI Systems** (2019): TERRAcontrol- GNSS/IMU Navigation System. <https://www.igi-systems.com/terracontrol.html> (Datum des Zugriffs: 29.05.2019)

**Klonowski, Jörg** (2018): Skript zur Vorlesung zum Modul“ Vermessung 5“ an der Hochschule Mainz

**König, Sebastian** (2018): Digitale Bachelorarbeit: Innovative Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung

**König, Sebastian** (2018a): Digitale Bachelorarbeit: Innovative Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung, S.75

**Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg** (2019a):GNSS. <http://www.sapos-bw.de/gnss.php> (Datum des Zugriffs: 03.06.2019)

**Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg** (2019b):GNSS- Messverfahren. <http://www.sapos-bw.de/gnss.php> (Datum des Zugriffs: 03.06.2019)

**Landesforsten Rheinland-Pfalz** (2012a): Bundeswaldinventur <https://www.wald-rlp.de/de/wald/zahlenspiegel/bundeswaldinventur/3-wie-viel-wald-gibt-es-in-rheinland-pfalz/> (Datum des Zugriffs: 28.05.2019)

**Landesforsten Rheinland-Pfalz** (2012b): Bundeswaldinventur. <https://www.wald-rlp.de/de/wald/zahlenspiegel/bundeswaldinventur/5-wem-gehört-der-wald-in-rheinland-pfalz/> (Datum des Zugriffs: 28.05.2019)

**LGVerm** (2000): Landesgesetz über das amtliche Vermessungswesen in Rheinland-Pfalz

**LGVermDVO** (2001) Landesverordnung zur Durchführung des Landesgesetzes über das amtliche Vermessungswesen in Rheinland-Pfalz

- Linder, Wilfried** (2018): Folie 11-Grundlagen der Photogrammetrie.  
<https://www.cs.hhu.de/lehrstuehle-und-arbeitsgruppen/geoinformatik/lehre-und-abschlussarbeiten/aktuelle-lehrveranstaltungen/vorlesungen/halbmodul-geoinformatik.html> (Datum des Zugriffs: 03.06.2019)
- Lorig, Axel** (2004): "Landentwicklung"- Skript der Vorlesung im Fachbereich Geoinformatik und Vermessung an der (Fach)hochschule Mainz
- LVerMGeo** (2016): Produktbeschreibung Digitale Orthophotos(DOP)  
[https://lvermgeo.rlp.de/fileadmin/lvermgeo/pdf/produktblaetter/ProduktbeschreibungRP\\_DOP.pdf](https://lvermgeo.rlp.de/fileadmin/lvermgeo/pdf/produktblaetter/ProduktbeschreibungRP_DOP.pdf) (Datum des Zugriffs: 28.05.2019)
- LVerMGeo** (2019): Digitale Orthophotos(DOP).  
<https://lvermgeo.rlp.de/de/produkte/geotopografie/luftbildprodukte/digitale-orthophotos/> (Datum des Zugriffs: 17.06.2019)
- Nick, Werner** (2008) Waldflurbereinigung-Neue Ansätze und Vorgehensweisen. Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung RLP;NKLH Heft 48, S.20-24
- Pawig, Ulrich** (2009) Neue Strategien der Waldflurbereinigung/ Vereinfachung der Vermessung. Schriftenreihe Deutsche Landeskulturgesellschaft – DLKG heft 6 Landeskultur- Motor der Waldentwicklung und Waldnutzung und Natura 2000- Konflikte und Lösungsansätze?; S.64
- PrimaCom** (2007): Art der Grenzsteine.  
<http://www.primacom.net/grenzpunkt/images/Grenzstein.JPG> (Datum des Zugriffs: 30.06.2019)
- Richtlinie für das Verfahren bei Liegenschaftsvermessungen In Rheinland-Pfalz** (2012):  
Vorschriftensammlung amtliches Vermessungswesen
- Richtlinie für den ländlichen Wegebau** (2015): Vorschriftensammlung für den Bau ländlicher Wege
- Richtlinie zur Erhebung der tatsächlichen Nutzung** (2017): Vorschriftensammlung amtliches Vermessungswesen
- Schlüter, Martin** (2017): „7. Digitales Orthophoto“- Skript zur Vorlesung „Photogrammetrie“ an der Hochschule Mainz
- Schmitz, Winand** (2011): Zukunftsweisende Modelle der Waldflurbereinigung in Rheinland-Pfalz, Deutschland, S.12
- Schumacher, Uwe** (1998) Verzicht auf Abmarkung in Waldgebieten am Beispiel des laufenden Flurbereinigungsverfahrens Schönecken. Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung RLP,NKLH Heft 30, S.80-82
- Statistisches Landesamt** (2018): Statistische Berichte, S.11
- Sungen, Mario** (2018): Digitale Bachelorarbeit: Vermessungstechnische Innovationen bei katastertechnischen Arbeiten in der Flurbereinigung in Rheinland- Pfalz, S.32- 37
- Sungen, Mario** (2018a): Digitale Bachelorarbeit: Vermessungstechnische Innovationen bei katastertechnischen Arbeiten in der Flurbereinigung in Rheinland- Pfalz, S.50

**Theisen, Marianne** (2019): PowerPoint Präsentation. Ausbildung der kombiniert Studierenden, Einsatz der Luftbildmessung in der ländlichen Bodenordnung

**Theisen, Marianne** (2019a): PowerPoint Präsentation. Ausbildung der kombiniert Studierenden, Einsatz der Luftbildmessung in der ländlichen Bodenordnung, Folie 8

**Theisen, Marianne** (2019b): PowerPoint Präsentation. Ausbildung der kombiniert Studierenden, Einsatz der Luftbildmessung in der ländlichen Bodenordnung, Folie 16

**Thiemann, Karl-Heinz** (2013): PowerPoint Präsentation. Kommunale Wertschöpfung durch Waldflurbereinigung, S.10

**Thomas, Joachim** (2014): Bedeutung von Technik und Automation für die Landentwicklung in Deutschland- Entwicklungslinien. Schriftenreihe Deutsche Landeskulturgesellschaft-DLKG, Sondeheft 7, S.44

**Wendel, Jan** (2011) :Integrierte Navigationssysteme: Sensordatenfusion, GPS und Inertiale Navigation. – Auflage: überarbeitete Auflage (23. Februar 2011), ISBN:978-3486704396

**ZusVermFlurb** (2018) Zusammenarbeit der Vermessungs- und Katasterbehörden und der Flurbereinigungsbehörden in Bodenordnungsverfahren

## Anhang A: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS HEPS Messung in Weg 1

"Soll"- Koordinaten	UTM		GNSS-Messung SAPOS HEPS	UTM		Δ [m]		Δ East >0,5	Δ North >0,5	Strecke aus Δ[m]	Strecke >0,5
	East (Zone 32)	North		East (Zone 32)	North	Δ East	Δ North				
40084	346316,077	5571239,577	60001	346316,088	5571239,59	-0,011	-0,013			0,017	
40083	346324,022	5571236,888	60002	346324,039	5571236,893	-0,017	-0,005			0,018	
40082	346321,202	5571233,609	60003	346321,214	5571233,621	-0,012	-0,012			0,017	
40081	346317,145	5571234,989	60004	346317,17	5571234,998	-0,025	-0,009			0,027	
40085	346274,68	5571156,991	60005	346274,639	5571156,983	0,041	0,008			0,042	
40086	346280,566	5571153,769	60006	346278,999	5571152,881	1,567	0,888	x	x	1,801	x
40088	346279,352	5571137,148	60007	346278,666	5571135,636	0,686	1,512	x	x	1,660	x
40087	346273,47	5571135,959	60008	346273,47	5571136,024	0	-0,065			0,065	
40089	346277,69	5571073,513	60009	346278,777	5571072,552	-1,087	0,961	x	x	1,451	x
40090	346283,48	5571073,927	60010	346285,341	5571073,096	-1,861	0,831	x	x	2,038	x
40092	346288,814	5571039,774	60011	346290	5571043,333	-1,186	-3,559	x	x	3,751	x
40091	346283,938	5571038,59	60012	346281,657	5571034,844	2,281	3,746	x	x	4,386	x
40106	346297,975	5571004,37	60013	346297,601	5571003,877	0,374	0,493			0,619	x
40107	346302,25	5571008,147	60014	346303,013	5571006,648	-0,763	1,499	x	x	1,682	x
40096	346323,807	5570982,988	60015	346321,985	5570981,779	1,822	1,209	x	x	2,187	x
40095	346319,393	5570979,531	60016	346323,653	5570981,774	-4,26	-2,243	x	x	4,814	x
40097	346326,363	5570966,52	60017	346325,059	5570965,739	1,304	0,781	x	x	1,520	x
40094	346331,951	5570968,612	60018	346332,063	5570969,103	-0,112	-0,491			0,504	x
40099	346338,287	5570947,945	60019	346338,338	5570948,522	-0,051	-0,577		x	0,579	x
40098	346332,553	5570946	60020	346333,744	5570946,095	-1,191	-0,095	x		1,195	x
40104	346295,944	5571017,879	60021	346288,961	5571012,513	6,983	5,366	x	x	8,807	x
40105	346290,129	5571015,493	60022	346286,723	5571010,978	3,406	4,515	x	x	5,656	x
40100	346340,168	5570929,293	60023	346341,494	5570926,665	-1,326	2,628	x	x	2,944	x
40101	346343,079	5570905,264	60024	346339,894	5570905,56	3,185	-0,296	x		3,199	x
40102	346337,078	5570904,555	60025	346335,015	5570904,333	2,063	0,222	x		2,075	x
40103	346339,854	5570879,643	60027	346338,674	5570881,862	1,18	-2,219	x	x	2,513	x
40109	346332,392	5570857,181	60028	346331,58	5570859,279	0,812	-1,498	x	x	1,704	x
40110	346326,667	5570861,137	60029	346330,411	5570860,78	-3,744	0,357	x		3,761	x
40112	346312,497	5570845,523	60030	346313,237	5570844,508	-0,74	1,015	x	x	1,256	x
40111	346316,361	5570840,087	60031	346316,842	5570840,817	-0,481	-0,73		x	0,874	x
40114	346271,572	5570815,789	60032	346271,909	5570817,809	-0,337	-2,02		x	2,048	x
40113	346268,813	5570821,373	60033	346267,795	5570823,98	1,018	-2,607	x	x	2,799	x
40115	346249,827	5570807,199	60034	346249,794	5570805,699	0,033	1,5		x	1,500	x
40124	346254,279	5570803,009	60035	346250,927	5570805,15	3,352	-2,141	x	x	3,977	x
40123	346228,977	5570778,141	60036	346228,008	5570778,399	0,969	-0,258	x		1,003	x
40122	346225,337	5570782,174	60037	346224,617	5570782,531	0,72	-0,357	x		0,804	x
40121	346208,84	5570764,693	60038	346208,538	5570763,54	0,302	1,153		x	1,192	x
40120	346214,167	5570762,233	60039	346212,722	5570761,72	1,445	0,513	x	x	1,533	x
40119	346202,59	5570724,73	60040	346202,347	5570726,578	0,243	-1,848		x	1,864	x
40118	346197,815	5570725,735	60041	346198,195	5570728,255	-0,38	-2,52		x	2,548	x
40117	346196,295	5570708,22	60042	346193,872	5570706,141	2,423	2,079	x	x	3,193	x
40116	346203,135	5570709,103	60043	346202,386	5570707,346	0,749	1,757	x	x	1,910	x
40135	346210,028	5570691,076	60044	346204,662	5570691,04	5,366	0,036	x		5,366	x
40136	346202,543	5570690,068	60045	346204,379	5570691,162	-1,836	-1,094	x	x	2,137	x
40134	346205,754	5570678,739	60046	346203,652	5570680,138	2,102	-1,399	x	x	2,525	x
40133	346212,212	5570678,28	60047	346211,193	5570680,531	1,019	-2,251	x	x	2,471	x
40138	346207,616	5570639,357	60048	346206,286	5570638,763	1,33	0,594	x	x	1,457	x
40137	346201,814	5570639,568	60049	346204,638	5570638,619	-2,824	0,949	x	x	2,979	x
40140	346202,362	5570621,504	60050	346200,896	5570621,262	1,466	0,242	x		1,486	x
40139	346208,392	5570622,188	60051	346204,53	5570621,01	3,862	1,178	x	x	4,038	x
40141	346211,71	5570604,808	60052	346211,459	5570604,582	0,251	0,226			0,338	
16137	346206,253	5570604,153	60053	346204,776	5570603,287	1,477	0,866	x	x	1,712	x
40142	346209,784	5570588,852	60054	346208,208	5570590,076	1,576	-1,224	x	x	1,995	x
40143	346215,322	5570592,103	60055	346213,402	5570593,102	1,92	-0,999	x	x	2,164	x
40144	346221,177	5570583,424	60056	346216,466	5570582,887	4,711	0,537	x	x	4,742	x
40145	346216,676	5570578,329	60057	346217,357	5570577,831	-0,681	0,498	x		0,844	x
40126	346229,358	5570568,546	60058	346229,635	5570567,487	-0,277	1,059		x	1,095	x
40125	346232,461	5570574,705	60059	346231,153	5570573,756	1,308	0,949	x	x	1,616	x
40129	346262,313	5570565,395	60060	346260,59	5570566,908	1,723	-1,513	x	x	2,293	x
40130	346261,157	5570560,51	60061	346258,902	5570560,626	2,255	-0,116	x		2,258	x

"Soll"- Koordinaten	UTM		GNSS-Messung SAPOS HEPS	UTM		Δ [m]		Δ East >0,5	Δ North >0,5	Strecke aus Δ[m]	Strecke >0,5
	East (Zone 32)	North		East (Zone 32)	North	Δ East	Δ North				
40131	346337,551	5570529,867	60062	346335,089	5570528,593	2,462	1,274	x	x	2,772	x
40132	346340,196	5570534,963	60063	346340,906	5570536,068	-0,71	-1,105	x	x	1,313	x
40147	346347,231	5570530,004	60064	346341,34	5570523,642	5,891	6,362	x	x	8,671	x
40146	346341,986	5570525,779	60065	346341,078	5570528,242	0,908	-2,463	x	x	2,625	x
40161	346343,461	5570523,521	60066	346342,916	5570524,463	0,545	-0,942	x	x	1,088	x
40162	346351,961	5570524,398	60067	346350,518	5570525,014	1,443	-0,616	x	x	1,569	x
40163	346351,271	5570516,911	60068	346350,079	5570516,481	1,192	0,43	x		1,267	x
40164	346347,001	5570511,183	60069	346347,99	5570509,724	-0,989	1,459	x	x	1,763	x
40151	346341,241	5570514,682	60070	346340,483	5570512,736	0,758	1,946	x	x	2,088	x
40152	346326,658	5570493,785	60071	346327,806	5570493,69	-1,148	0,095	x		1,152	x
40153	346331,058	5570489,718	60072	346331,262	5570491,056	-0,204	-1,338		x	1,353	x
40154	346330,33	5570479,47	60073	346329,375	5570480,502	0,955	-1,032	x	x	1,406	x
40155	346324,855	5570477,509	60074	346315,647	5570477,214	9,208	0,295	x		9,213	x
40157	346331,032	5570468,691	60075	346332,721	5570467,384	-1,689	1,307	x	x	2,136	x
40156	346335,064	5570473,398	60076	346335,026	5570471,566	0,038	1,832		x	1,832	x
40159	346343,2	5570468,116	60077	346345,132	5570465,634	-1,932	2,482	x	x	3,145	x
40158	346340,245	5570460,984	60078	346342,331	5570457,148	-2,086	3,836	x	x	4,366	x
40160	346441,607	5570448,98	60079	346442,962	5570449,208	-1,355	-0,228	x		1,374	x
40149	346442,07	5570454,33	60080	346442,346	5570451,272	-0,276	3,058		x	3,070	x
40150	346461,627	5570448,362	60081	346460,753	5570445,282	0,874	3,08	x	x	3,202	x
40165	346459,91	5570443,239	60082	346457,828	5570441,452	2,082	1,787	x	x	2,744	x
40167	346494,768	5570431,053	60083	346493,515	5570435,072	1,253	-4,019	x	x	4,210	x
40166	346496,37	5570435,936	60084	346499,124	5570440,071	-2,754	-4,135	x	x	4,968	x
40171	346525,169	5570419,589	60085	346521,55	5570418,922	3,619	0,667	x	x	3,680	x
40170	346527,249	5570424,826	60086	346528,456	5570421,981	-1,207	2,845	x	x	3,090	x
40172	346536,63	5570418,669	60087	346536,66	5570420,788	-0,03	-2,119		x	2,119	x
40173	346533,291	5570413,253	60088	346533,768	5570413,024	-0,477	0,229			0,529	x
40174	346551,654	5570399,815	60089	346551,75	5570400,05	-0,096	-0,235			0,254	
40175	346554,412	5570405,279	60090	346552,319	5570404,301	2,093	0,978	x	x	2,310	x
40177	346589,333	5570393,136	60091	346587,164	5570392,369	2,169	0,767	x	x	2,301	x
40176	346586,37	5570387,769	60092	346586,028	5570387,838	0,342	-0,069			0,349	
40179	346614,233	5570370,431	60093	346614,371	5570371,503	-0,138	-1,072		x	1,081	x
40178	346616,277	5570377,344	60094	346618,094	5570373,418	-1,817	3,926	x	x	4,326	x
40181	346630,053	5570374,32	60095	346627,415	5570375,416	2,638	-1,096	x	x	2,857	x
40180	346629,906	5570366,62	60096	346629,514	5570367,899	0,392	-1,279		x	1,338	x
40183	346649,087	5570367,122	60097	346648,893	5570367,311	0,194	-0,189			0,271	
40182	346650,261	5570372,822	60098	346650,082	5570374,602	0,179	-1,78		x	1,789	x
40184	346667,056	5570367,031	60099	346666,302	5570368,207	0,754	-1,176	x	x	1,397	x
40185	346664,016	5570361,178	60162	346659,579	5570360,755	4,437	0,423	x		4,457	x
40186	346672,474	5570347,084	60163	346670,909	5570345,601	1,565	1,483	x	x	2,156	x
40187	346678,288	5570348,775	60164	346673,617	5570347,448	4,671	1,327	x	x	4,856	x
40188	346677,679	5570324,585	60165	346677,969	5570325,842	-0,29	-1,257		x	1,290	x
40189	346671,722	5570325,393	60166	346673,662	5570323,766	-1,94	1,627	x	x	2,532	x
40192	346668,957	5570298,572	60167	346668,675	5570298,625	0,282	-0,053			0,287	
40191	346674,573	5570299,604	60168	346674,978	5570299,452	-0,405	0,152			0,433	
40193	346675,694	5570286,2	60169	346675,757	5570286,306	-0,063	-0,106			0,123	
40194	346671,588	5570277,972	60170	346671,261	5570277,837	0,327	0,135			0,354	
40108	346334,112	5570880,539	60171	346336,064	5570882,082	-1,952	-1,543	x	x	2,488	x
Summe Weg 1			108					75	76		94

## Anhang B: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS HEPS Messung in Weg 2

"Soll"- Koordinaten	UTM		GNSS-Messung SAPOS HEPS	UTM		Δ [m]		Δ East >0,5	Δ North >0,5	Strecke aus Δ[m]	Strecke >0,5
	East (Zone 32)	North		East (Zone 32)	North	Δ East	Δ North				
40204	346677,05	5570286,229	60100	346676,595	5570285,928	0,455	0,301			0,546	x
40205	346680,133	5570275,732	60101	346678,984	5570274,673	1,149	1,059	x	x	1,563	x
40208	346691,49	5570307,118	60102	346690,282	5570306,604	1,208	0,514	x	x	1,313	x
40207	346686,462	5570309,987	60103	346686,123	5570310,221	0,339	-0,234			0,412	
40196	346728,789	5570390,333	60104	346730,595	5570389,121	-1,806	1,212	x	x	2,175	x
40197	346760,531	5570423,346	60106	346777,126	5570429,735	-16,595	-6,389	x	x	17,782	x
40198	346756,493	5570426,284	60107	346753,675	5570426,645	2,818	-0,361	x		2,841	x
40200	346762,821	5570435,175	60108	346767,262	5570439,957	-4,441	-4,782	x	x	6,526	x
40199	346768,103	5570432,564	60109	346771,773	5570439,327	-3,67	-6,763	x	x	7,695	x
40201	346774,567	5570455,846	60110	346777,495	5570458,851	-2,928	-3,005	x	x	4,196	x
40231	346769,3	5570456,531	60111	346770,398	5570457,457	-1,098	-0,926	x	x	1,436	x
40232	346772,862	5570476,654	60112	346773,875	5570474,749	-1,013	1,905	x	x	2,158	x
40233	346779,214	5570476,247	60113	346779,023	5570470,981	0,191	5,266		x	5,269	x
40235	346789,663	5570492,685	60114	346789,531	5570489,219	0,132	3,466		x	3,469	x
40234	346784,748	5570495,119	60115	346787,219	5570494,765	-2,471	0,354	x		2,496	x
40210	346818,636	5570539,881	60116	346819,027	5570537,76	-0,391	2,121		x	2,157	x
40209	346823,792	5570537,738	60117	346826,575	5570529,161	-2,783	8,577	x	x	9,017	x
40212	346832,128	5570552,559	60118	346833,855	5570554,918	-1,727	-2,359	x	x	2,924	x
40211	346828,321	5570555,077	60119	346830,81	5570555,006	-2,489	0,071	x		2,490	x
40214	346839,268	5570573,5	60120	346844,212	5570574,296	-4,944	-0,796	x	x	5,008	x
40213	346843,249	5570570,823	60121	346848,913	5570567,165	-5,664	3,658	x	x	6,743	x
40216	346855,864	5570586,616	60122	346854,468	5570589,129	1,396	-2,513	x	x	2,875	x
40215	346852,564	5570589,371	60123	346846,167	5570586,486	6,397	2,885	x	x	7,017	x
40230	346861,152	5570598,601	60124	346860,244	5570596,081	0,908	2,52	x	x	2,679	x
40217	346864,73	5570594,569	60125	346868,005	5570596,741	-3,275	-2,172	x	x	3,930	x
40218	346880,005	5570604,857	60126	346883,285	5570602,449	-3,28	2,408	x	x	4,069	x
40229	346877,134	5570608,966	60127	346877,327	5570605,354	-0,193	3,612		x	3,617	x
40228	346895,4	5570620,03	60128	346894,191	5570619,135	1,209	0,895	x	x	1,504	x
40219	346898,575	5570616,207	60129	346890,727	5570609,564	7,848	6,643	x	x	10,282	x
40203	346935,174	5570637,317	60130	346934,941	5570635,419	0,233	1,898		x	1,912	x
40227	346932,684	5570641,618	60131	346933,926	5570636,691	-1,242	4,927	x	x	5,081	x
40250	347052,225	5570724,768	60132	347052,32	5570724,234	-0,095	0,534		x	0,542	x
40252	347029,603	5570709,345	60133	347028,12	5570710,314	1,483	-0,969	x	x	1,772	x
40254	347008,047	5570692,611	60134	347007,239	5570693,461	0,808	-0,85	x	x	1,173	x
40224	346989,304	5570676,644	60135	346988,787	5570676,215	0,517	0,429	x		0,672	x
40225	346963,908	5570659,76	60136	346961,08	5570663,394	2,828	-3,634	x	x	4,605	x
40226	346948,658	5570650,621	60137	346948,408	5570653,6	0,25	-2,979		x	2,989	x
40220	346951,888	5570645,909	60138	346953,331	5570643,682	-1,443	2,227	x	x	2,654	x
40221	346966,872	5570654,646	60139	346969,952	5570642,258	-3,08	12,388	x	x	12,765	x
40222	346992,388	5570672,297	60140	346993,029	5570671,391	-0,641	0,906	x	x	1,110	x
40223	347011,707	5570688,801	60141	347012,032	5570684,352	-0,325	4,449		x	4,461	x
40253	347032,363	5570705,325	60142	347032,825	5570705,655	-0,462	-0,33			0,568	x
40251	347054,118	5570719,428	60143	347055,649	5570717,144	-1,531	2,284	x	x	2,750	x
40249	347085,1	5570733,72	60144	347084,588	5570736,607	0,512	-2,887	x	x	2,932	x
40248	347082,499	5570739,019	60145	347083,081	5570738,493	-0,582	0,526	x	x	0,784	x
40247	347099,129	5570751,899	60146	347099,399	5570751,406	-0,27	0,493			0,562	x
40246	347103,3	5570747,447	60147	347103,267	5570747,461	0,033	-0,014			0,036	
40245	347118,714	5570763,146	60148	347117,345	5570766,457	1,369	-3,311	x	x	3,583	x
40244	347115,193	5570767,368	60149	347114,477	5570768,934	0,716	-1,566	x	x	1,722	x
40243	347135,638	5570790,885	60150	347135,094	5570791,726	0,544	-0,841	x	x	1,002	x
40242	347139,407	5570787,706	60151	347139,402	5570787,733	0,005	-0,027			0,027	
40241	347153,597	5570809,487	60152	347153,536	5570809,484	0,061	0,003			0,061	
40240	347149,722	5570812,518	60153	347149,814	5570812,689	-0,092	-0,171			0,194	
40238	347169,186	5570848,428	60154	347169,175	5570848,413	0,011	0,015			0,019	
40239	347173,442	5570845,391	60155	347173,397	5570845,468	0,045	-0,077			0,089	
40259	347180,883	5570851,428	60156	347180,861	5570851,455	0,022	-0,027			0,035	
40237	347179,644	5570856,854	60157	347179,619	5570856,872	0,025	-0,018			0,031	
40255	347190,977	5570855,71	60158	347190,99	5570855,742	-0,013	-0,032			0,035	
40258	347187,055	5570861,964	60159	347187,062	5570861,97	-0,007	-0,006			0,009	
40256	347195,197	5570856,767	60160	347195,183	5570856,771	0,014	-0,004			0,015	
40257	347184,944	5570865,618	60161	347184,942	5570865,633	0,002	-0,015			0,015	
Summe Weg 2			61					37	41		48

## Anhang C: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS HEPS Messung in Weg 3

"Soll"- Koordinaten	UTM		GNSS-Messung SAPOS HEPS	UTM		Δ [m]		Δ East >0,5	Δ North >0,5	Strecke aus Δ[m]	Strecke >0,5
	East (Zone 32)	North		East (Zone 32)	North	Δ East	Δ North				
40045	350238,328	5570153,438	60200	350238,299	5570153,406	0,029	0,032			0,043	
40048	350225,534	5570153,372	60201	350225,509	5570153,342	0,025	0,03			0,039	
40047	350230,96	5570159,547	60202	350230,934	5570159,534	0,026	0,013			0,029	
40046	350237,19	5570158,295	60203	350237,161	5570158,277	0,029	0,018			0,034	
40050	350247,809	5570299,466	60204	350247,78	5570299,438	0,029	0,028			0,040	
40049	350243,092	5570299,599	60205	350243,082	5570299,577	0,01	0,022			0,024	
40044	350243,361	5570337,295	60206	350242,234	5570336,723	1,127	0,572	x	x	1,264	x
40043	350248,127	5570337,786	60207	350251,585	5570340,123	-3,458	-2,337	x	x	4,174	x
40041	350245,013	5570352,559	60208	350245,341	5570353,426	-0,328	-0,867		x	0,927	x
40042	350240,447	5570350,717	60209	350241,999	5570350,685	-1,552	0,032	x		1,552	x
40040	350214,593	5570400,021	60210	350212,931	5570399,25	1,662	0,771	x	x	1,832	x
40039	350218,3	5570403,729	60211	350216,886	5570403,566	1,414	0,163	x		1,423	x
40038	350192,769	5570424,006	60212	350191,688	5570422,387	1,081	1,619	x	x	1,947	x
40035	350188,885	5570420,142	60213	350188,729	5570417,809	0,156	2,333		x	2,338	x
40036	350179,046	5570429,682	60214	350181,465	5570429,957	-2,419	-0,275	x		2,435	x
40034	350183,571	5570434,771	60215	350181,441	5570435,308	2,13	-0,537	x	x	2,197	x
40032	350176,13	5570445,417	60216	350176,461	5570447,519	-0,331	-2,102		x	2,128	x
40033	350171,855	5570441,88	60217	350171,878	5570443,636	-0,023	-1,756		x	1,756	x
40030	350155,361	5570485,813	60218	350155,869	5570487,697	-0,508	-1,884	x	x	1,951	x
40031	350161,47	5570491,538	60219	350161,531	5570488,307	-0,061	3,231		x	3,232	x
40028	350160,172	5570512,707	60220	350161,036	5570512,728	-0,864	-0,021	x		0,864	x
40029	350154,509	5570510,054	60221	350155,008	5570509,439	-0,499	0,615		x	0,792	x
40027	350147,182	5570531,057	60222	350144,849	5570526,622	2,333	4,435	x	x	5,011	x
40026	350153,559	5570532,299	60223	350152,012	5570528,608	1,547	3,691	x	x	4,002	x
40024	350154,42	5570544,645	60224	350154,902	5570546,353	-0,482	-1,708		x	1,775	x
40025	350148,89	5570545,975	60225	350151,205	5570544,2	-2,315	1,775	x	x	2,917	x
40023	350155,049	5570558,917	60226	350155,385	5570557,932	-0,336	0,985		x	1,041	x
40022	350159,771	5570554,26	60227	350159,353	5570553,709	0,418	0,551		x	0,692	x
40021	350173,607	5570568,668	60228	350173,223	5570569,982	0,384	-1,314		x	1,369	x
40017	350169,036	5570571,993	60229	350167,35	5570572,627	1,686	-0,634	x	x	1,801	x
40016	350174,048	5570581,544	60230	350174,449	5570581,69	-0,401	-0,146			0,427	
40020	350179,844	5570579,438	60231	350180,527	5570580,668	-0,683	-1,23	x	x	1,407	x
40019	350179,165	5570589,725	60232	350176,925	5570592,13	2,24	-2,405	x	x	3,287	x
40015	350173,729	5570588,991	60233	350173,92	5570589,367	-0,191	-0,376			0,422	
40013	350164,572	5570613,123	60234	350169,772	5570612,309	-5,2	0,814	x	x	5,263	x
40014	350170,311	5570614,468	60235	350168,395	5570614,091	1,916	0,377	x		1,953	x
40012	350167,489	5570630,815	60236	350167,187	5570633,061	0,302	-2,246		x	2,266	x
40011	350162,118	5570629,556	60237	350159,202	5570628,866	2,916	0,69	x	x	2,997	x
40010	350162,659	5570656,913	60238	350163,971	5570656,258	-1,312	0,655	x	x	1,466	x
40009	350168,071	5570656,393	60239	350167,336	5570659,398	0,735	-3,005	x	x	3,094	x
40008	350173,978	5570691,511	60240	350174,859	5570690,071	-0,881	1,44	x	x	1,688	x
40007	350168,828	5570694,313	60241	350167,83	5570693,135	0,998	1,178	x	x	1,544	x
40006	350174,006	5570707,275	60242	350174,642	5570707,584	-0,636	-0,309	x		0,707	x
40005	350180,315	5570704,298	60243	350178,06	5570701,664	2,255	2,634	x	x	3,467	x
40062	350187,495	5570711,847	60244	350187,114	5570710,905	0,381	0,942		x	1,016	x
40063	350193,335	5570716,194	60245	350190,636	5570717,63	2,699	-1,436	x	x	3,057	x
40003	350184,158	5570719,82	60246	350183,722	5570720,208	0,436	-0,388			0,584	x
40004	350171,859	5570711,049	60247	350172,987	5570714,892	-1,128	-3,843	x	x	4,005	x
40001	350139,595	5570709,914	60248	350139,396	5570710,569	0,199	-0,655		x	0,685	x
40002	350142,043	5570717,366	60249	350141,64	5570717,568	0,403	-0,202			0,451	
40060	350080,138	5570718,079	60250	350079,476	5570717,774	0,662	0,305	x		0,729	x
40061	350079,733	5570713,92	60251	350079,59	5570713,819	0,143	0,101			0,175	
40058	350050,905	5570716,896	60252	350050,824	5570716,522	0,081	0,374			0,383	
40059	350050,427	5570721,913	60253	350050,758	5570718,944	-0,331	2,969		x	2,987	x
40056	350004,884	5570714,335	60254	350003,745	5570711,938	1,139	2,397	x	x	2,654	x
40057	350006,682	5570709,467	60255	350006,607	5570708,992	0,075	0,475			0,481	
40055	349938,574	5570704,496	60256	349938,512	5570705,899	0,062	-1,403		x	1,404	x
40054	349938,445	5570710,077	60257	349935,771	5570709,927	2,674	0,15	x		2,678	x
40052	349891,54	5570708,697	60258	349892,347	5570707,08	-0,807	1,617	x	x	1,807	x
40053	349891,865	5570704,315	60259	349890,88	5570701,796	0,985	2,519	x	x	2,705	x
40064	349858,318	5570699,035	60260	349858,761	5570700,531	-0,443	-1,496		x	1,560	x
40051	349857,25	5570704,222	60261	349856,573	5570703,714	0,677	0,508	x	x	0,846	x
40065	349827,87	5570691,84	60262	349828,075	5570692,91	-0,205	-1,07		x	1,089	x
40066	349829,953	5570687,653	60263	349828,867	5570687,194	1,086	0,459	x		1,179	x

"Soll"- Koordinaten	UTM		GNSS-Messung SAPOS HEPS	UTM		Δ [m]		Δ East >0,5	Δ North >0,5	Strecke aus Δ[m]	Strecke >0,5
	East (Zone 32)	North		East (Zone 32)	North	Δ East	Δ North				
40068	349819,809	5570679,116	60264	349818,931	5570678,56	0,878	0,556	x	x	1,039	x
40067	349816,157	5570683,317	60265	349816,639	5570682,608	-0,482	0,709		x	0,857	x
40069	349810,988	5570672,221	60266	349810,566	5570671,335	0,422	0,886		x	0,981	x
40070	349816,69	5570670,954	60267	349814,713	5570672,109	1,977	-1,155	x	x	2,290	x
40079	349814,057	5570637,247	60268	349815,573	5570638,204	-1,516	-0,957	x	x	1,793	x
40080	349808,652	5570637,851	60269	349808,417	5570636,182	0,235	1,669		x	1,685	x
40078	349805,559	5570628,627	60270	349806,131	5570624,96	-0,572	3,667	x	x	3,711	x
40077	349811,09	5570625,609	60271	349814,691	5570622,146	-3,601	3,463	x	x	4,996	x
40075	349802,17	5570616,995	60272	349802,626	5570616,252	-0,456	0,743		x	0,872	x
40076	349799,139	5570620,975	60273	349799,588	5570620,331	-0,449	0,644		x	0,785	x
40073	349792,439	5570609,715	60274	349792,545	5570609,587	-0,106	0,128			0,166	
40074	349789,491	5570615,941	60275	349788,452	5570617,795	1,039	-1,854	x	x	2,125	x
40072	349775,999	5570606,473	60276	349775,749	5570606,941	0,25	-0,468			0,531	x
40071	349778,104	5570602,304	60277	349777,202	5570603,403	0,902	-1,099	x	x	1,422	x
Summe Weg 3			78					41	54		65

## Anhang D: Gegenüberstellung der Koordinaten der SAPOS EPS Messung

"Soll"- Koordinaten	UTM		GNSS-Messung SAPOS EPS	UTM		Δ [m]		Δ East >0,5	Δ North >0,5	Strecke aus Δ[m]	Strecke >0,5
	East (Zone 32)	North		East (Zone 32)	North	Δ East	Δ North				
40045	350238,328	5570153,438	80000	350237,774	5570154,482	0,554	-1,044	x	x	1,182	x
40048	350225,534	5570153,372	80077	350225,301	5570153,394	0,233	-0,022			0,234	
40047	350230,960	5570159,547	80076	350230,755	5570159,233	0,205	0,314			0,375	
40046	350237,190	5570158,295	80001	350236,669	5570159,154	0,521	-0,859	x	x	1,005	x
40050	350247,809	5570299,466	80002	350247,354	5570300,116	0,455	-0,650		x	0,794	x
40049	350243,092	5570299,599	80075	350243,303	5570298,594	-0,211	1,005		x	1,027	x
40044	350243,361	5570337,295	80074	350250,239	5570331,366	-6,878	5,929	x	x	9,081	x
40043	350248,127	5570337,786	80003	350248,392	5570333,713	-0,265	4,073		x	4,082	x
40041	350245,013	5570352,559	80004	350245,041	5570351,117	-0,028	1,442		x	1,442	x
40042	350240,447	5570350,717	80073	350241,919	5570352,760	-1,472	-2,043	x	x	2,518	x
40040	350214,593	5570400,021	80072	350212,602	5570401,811	1,991	-1,789	x	x	2,677	x
40039	350218,300	5570403,729	80005	350218,067	5570405,915	0,233	-2,186		x	2,198	x
40038	350192,769	5570424,006	80006	350195,339	5570429,900	-2,570	-5,894	x	x	6,430	x
40035	350188,885	5570420,142	80071	350194,111	5570413,541	-5,226	6,601	x	x	8,420	x
40036	350179,046	5570429,682	80070	350178,661	5570432,345	0,385	-2,663		x	2,690	x
40034	350183,571	5570434,771	80007	350181,448	5570438,476	2,123	-3,705	x	x	4,270	x
40032	350176,130	5570445,417	80008	350176,056	5570446,840	0,074	-1,423		x	1,425	x
40033	350171,855	5570441,880	80069	350172,452	5570441,688	-0,597	0,192	x		0,627	x
40030	350155,361	5570485,813	80068	350162,800	5570484,564	-7,439	1,249	x	x	7,543	x
40031	350161,470	5570491,538	80009	350160,418	5570492,892	1,052	-1,354	x	x	1,714	x
40028	350160,172	5570512,707	80010	350162,653	5570506,128	-2,481	6,579	x	x	7,031	x
40029	350154,509	5570510,054	80067	350155,496	5570513,243	-0,987	-3,189	x	x	3,339	x
40027	350147,182	5570531,057	80066	350151,005	5570513,418	-3,823	17,639	x	x	18,049	x
40026	350153,559	5570532,299	80011	350156,198	5570533,133	-2,639	-0,834	x	x	2,768	x
40024	350154,420	5570544,645	80012	350154,539	5570547,175	-0,119	-2,530		x	2,533	x
40025	350148,890	5570545,975	80065	350149,569	5570539,332	-0,679	6,643	x	x	6,678	x
40023	350155,049	5570558,917	80064	350158,346	5570560,423	-3,297	-1,506	x	x	3,624	x
40022	350159,771	5570554,260	80013	350158,437	5570558,496	1,334	-4,236	x	x	4,441	x
40021	350173,607	5570568,668	80014	350173,665	5570566,170	-0,058	2,498		x	2,498	x
40017	350169,036	5570571,993	80063	350168,956	5570575,194	0,080	-3,201		x	3,202	x
40016	350174,048	5570581,544	80062	350173,184	5570585,107	0,864	-3,563	x	x	3,667	x
40020	350179,844	5570579,438	80015	350179,334	5570583,020	0,510	-3,582	x	x	3,618	x
40019	350179,165	5570589,725	80016	350180,399	5570587,595	-1,234	2,130	x	x	2,462	x
40015	350173,729	5570588,991	80061	350177,270	5570586,996	-3,541	1,995	x	x	4,064	x
40013	350164,572	5570613,123	80060	350171,541	5570603,478	-6,969	9,645	x	x	11,899	x
40014	350170,311	5570614,468	80017	350167,927	5570611,319	2,384	3,149	x	x	3,950	x
40012	350167,489	5570630,815	80018	350164,172	5570647,671	3,317	-16,856	x	x	17,179	x
40011	350162,118	5570629,556	80059	350161,212	5570626,106	0,906	3,450	x	x	3,567	x
40010	350162,659	5570656,913	80058	350160,845	5570657,294	1,814	-0,381	x		1,854	x
40009	350168,071	5570656,393	80019	350167,526	5570655,527	0,545	0,866	x	x	1,023	x
40008	350173,978	5570691,511	80020	350173,711	5570687,438	0,267	4,073			4,082	x
40007	350168,828	5570694,313	80057	350167,714	5570696,074	1,114	-1,761	x	x	2,084	x
40006	350174,006	5570707,275	80056	350172,402	5570711,416	1,604	-4,141	x	x	4,441	x
40005	350180,315	5570704,298	80021	350179,075	5570693,638	1,240	10,660	x	x	10,732	x
40062	350187,495	5570711,847	80022	350185,079	5570713,165	2,416	-1,318	x	x	2,752	x
40063	350193,335	5570716,194	80023	350189,491	5570720,504	3,844	-4,310	x	x	5,775	x
40003	350184,158	5570719,820	80024	350182,831	5570732,532	1,327	-12,712	x	x	12,781	x
40004	350171,859	5570711,049	80055	350171,793	5570710,414	0,067	0,635		x	0,639	x
40001	350139,595	5570709,914	80054	350139,317	5570711,722	0,278	-1,808		x	1,829	x
40002	350142,043	5570717,366	80025	350144,110	5570716,535	-2,067	0,831	x	x	2,228	x
40060	350080,138	5570718,079	80026	350080,867	5570715,306	-0,729	2,774	x	x	2,868	x
40061	350079,733	5570713,920	80053	350079,548	5570716,518	0,185	-2,598		x	2,604	x
40058	350050,905	5570716,896	80052	350051,543	5570719,324	-0,638	-2,428	x	x	2,511	x
40059	350050,427	5570721,913	80027	350051,095	5570721,839	-0,668	0,074	x		0,672	x
40056	350004,884	5570714,335	80028	350004,127	5570711,958	0,757	2,377	x	x	2,494	x
40057	350006,682	5570709,467	80051	350005,911	5570709,130	0,771	0,337	x		0,841	x
40055	349938,574	5570704,496	80050	349936,553	5570709,055	2,021	-4,559	x	x	4,987	x
40054	349938,445	5570710,077	80029	349938,134	5570708,033	0,311	2,044		x	2,067	x
40052	349891,540	5570708,697	80030	349889,797	5570708,635	1,743	0,062	x		1,745	x
40053	349891,865	5570704,315	80049	349894,449	5570698,352	-2,584	5,963	x	x	6,499	x
40064	349858,318	5570699,035	80048	349855,515	5570696,967	2,803	2,068	x	x	3,484	x
40051	349857,250	5570704,222	80031	349856,628	5570706,311	0,622	-2,089	x	x	2,180	x
40065	349827,870	5570691,840	80032	349830,558	5570694,724	-2,688	-2,884	x	x	3,942	x
40066	349829,953	5570687,653	80047	349830,005	5570690,229	-0,052	-2,576		x	2,576	x

"Soll"- Koordinaten	UTM		GNSS-Messung SAPOS EPS	UTM		Δ [m]		Δ East >0,5	Δ North >0,5	Strecke aus Δ[m]	Strecke >0,5
	East (Zone 32)	North		East (Zone 32)	North	Δ East	Δ North				
40068	349819,809	5570679,116	80046	349818,335	5570684,484	1,474	-5,368	x	x	5,567	x
40067	349816,157	5570683,317	80033	349816,831	5570685,643	-0,674	-2,326	x	x	2,422	x
40069	349810,988	5570672,221	80034	349813,347	5570678,644	-2,359	-6,423	x	x	6,842	x
40070	349816,690	5570670,954	80045	349815,227	5570673,990	1,463	-3,036	x	x	3,370	x
40079	349814,057	5570637,247	80044	349815,746	5570637,028	-1,689	0,219	x		1,703	x
40080	349808,652	5570637,851	80035	349806,146	5570650,235	2,506	-12,384	x	x	12,635	x
40078	349805,559	5570628,627	80036	349809,672	5570614,510	-4,113	14,117	x	x	14,704	x
40077	349811,090	5570625,609	80043	349808,962	5570626,951	2,128	-1,342	x	x	2,516	x
40075	349802,170	5570616,995	80042	349796,713	5570632,282	5,457	-15,287	x	x	16,232	x
40076	349799,139	5570620,975	80037	349799,785	5570623,011	-0,646	-2,036	x	x	2,136	x
40073	349792,439	5570609,715	80041	349785,668	5570603,139	6,772	6,576	x	x	9,439	x
40074	349789,491	5570615,941	80038	349787,890	5570620,006	1,601	-4,065	x	x	4,369	x
40072	349775,999	5570606,473	80039	349775,590	5570604,302	0,409	2,172		x	2,210	x
40071	349778,104	5570602,304	80040	349777,314	5570600,133	0,790	2,171	x	x	2,310	x
Summe			78					59	70		76

## Anhang E: Inhalte der DVD

<b>Verzeichnis</b>	<b>Inhalt</b>
\1_Schriftlicher_Teil\ <hr/>	Abbildungen (*.jpg, *.png) Anhang (*.jpg, *.png, *.xlsx) Tabellen (*.jpg, *.png, *.xlsx) Digitale Quellen (*.pdf) Aufgabenstellung (*.pdf) Bachelorarbeit (*.docx, *.pdf) <hr/>
\2_Internetseite\ <hr/>	Abbildungen als Einzeldateien (*.jpg, *.png) Internetpräsentation der Bachelorarbeit (*.html, *.css) <hr/>
\3_Poster\ <hr/>	Abbildungen (*.jpg, *.png) Posterpräsentation der Bachelorarbeit (*.pptx, *.pdf) <hr/>
\4_Untersuchungen\ <hr/>	Daten zur Bachelorarbeit <ul style="list-style-type: none"><li>• Messwerte der verschiedenen Messansätze</li></ul> <hr/>
\Erfassungsbogen.pdf <hr/>	Ausgefüllter Erfassungsbogen zur Bachelorarbeit <hr/>
\Readme.txt <hr/>	Inhaltsverzeichnis der DVD <hr/>

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit 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