Jan-Eric Christmann

Praxisvergleich der Leistungsfähigkeit von ausgewählten Messmethoden nach Ausbau der Wirtschaftswege in einer Waldflurbereinigung

Bachelorarbeit

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

Hochschule Mainz
Fachbereich Technik
Lehreinheit Geoinformatik und Vermessung

Betreuer: Ministerialrat a.D. Prof. Axel Lorig
Bearbeitungszeitraum: 20. Mai 2019 bis 29. Juli 2019

Standnummer: B0311

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_Christmann.docx`
Anzahl Zeichen:	136932
Anzahl Wörter:	21400
Anzahl Seiten:	120

Arbeit angenommen:

Mainz, den

……..... …….

(Datum) (Unterschrift)

© 2019 Jan-Eric Christmann

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

Hochschule Mainz
Fachbereich Technik
Lehreinheit Geoinformatik und Vermessung
Lehrbeauftragter: Ministerialrat a.D. Prof. Axel Lorig

Aufgabe für die Bachelorarbeit
für Herrn Jan-Eric Christmann
Matrikel-Nr.: 915 876

Thema: **Praxisvergleich der Leistungsfähigkeit von ausgewählten Messmethoden nach Ausbau der Wirtschaftswege in einer Waldflurbereinigung**

Sachverhalt:

Das am besten geeignete Instrument, um die Vorrausetzung 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 Euro/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 sollen der theoretische und praktische Einsatz der Luftbildvermessung, einer GNSS-Vermessung und ergänzender Berechnungen der „zweiten Wegeseite" anhand des Waldflurbereinigungsverfahrens Lug (Pfalz) erprobt werden. Vorgehensweisen und Messergebnisse sind im Hinblick auf ihre Eignung, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit zu untersuchen und gegenüber zu stellen. Daraus soll ein Vorschlag für ein terrestrisch-photogrammetrisch kombiniertes 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 Pfalz darzustellen.

3. Aus dem Flurbereinigungsgebiet Lug sind drei neu gebaute Waldwege möglichst in unterschiedlichen Hängigkeiten und mit unterschiedlichem Aufwuchs auszuwählen. Diese Waldwege sind zu vermessen:

    a. photogrammetrisch (bei der technischen Zentralstelle) – aufgrund einer pilotweise für diese Untersuchung durchgeführten Spezialbefliegung nach Ausbau des Wegenetzes

    b. mit einem GNSS-Gerät

    Diese beiden unterschiedlichen Vorgehensweisen sind umfassend zu beschreiben. Die Ergebnisse der beiden verschiedenen Vermessungsansätze sind im Hinblick auf die Punktausfälle, auf die erzielten Genauigkeiten der Punktbestimmung, auf die Wirtschaftlichkeit und auf die Handhabbarkeit ausführlich zu vergleichen.

4. Soweit einzelne Punkte entlang der Wege nicht messbar und damit „ausgefallen" sind, sind die Grenzlinien entlang der Wege durch die sog. „Berechnung der zweiten Wegeseite" oder vergleichbare rechnerische Ansätze zu ergänzen und die vollständigen Grenzzüge für die Zeichnung der Karten zu konstruieren. Die Ergebnisse dieser Ansätze sind stichprobenartig vor Ort zu prüfen und die Vorgehensweise und das Prüfergebnis sind zu diskutieren.

5. Es ist ein Vorschlag für die Eignung der Kombination der erprobten Vorgehensweisen (3. und 4.) für die Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz auszuarbeiten.

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

Zeitpunkt der Ausgabe der Arbeit: 20. Mai 2019

Zeitpunkt der Abgabe der Arbeit: 29. Juli 2019

Kurzzusammenfassung

Gegenstand dieser Bachelorarbeit ist ein Praxisvergleich der Leistungsfähigkeit der Photogrammetrie und der GNSS-Messung nach dem Ausbau der Wirtschaftswege in einer Waldflurbereinigung. Dabei wurde untersucht inwieweit sich die Trassenfreistellung beim Ausbau der Wirtschaftswege positiv auf die Leistungsfähigkeit der Befliegung mit einer Luftbildkamera und anschließender Auswertung im 3D-Stereomodell, sowie auf die Vermessung mit einem GNSS-Gerät auswirkt. Durch die entstandene Schneise konnten enorme Vorteile bei einer Bestimmung von Wegegrenzpunkten im 3D-Stereomodell festgestellt werden. Des Weiteren war die Vermessung der Wirtschaftswege mit einem GNSS-Gerät möglich. Nicht messbare Punkte konnten durch rechnerische Ansätze bestimmt werden.

Schlagwörter: Waldflurbereinigung, Photogrammetrie, 3D-Stereomodell, Globales Navigationssatellitensystem (GNSS), Wegepunktberechnung, Wirtschaftswege

Abstract Summary

Subject of this bachelor thesis is a comparison of the performance of photogrammetry and the GNSS measurement after the expansion of the forest routes in a forest land consolidation. It was examined to what extent the train path exemption in the development of the forest routes has a positive effect on the performance of the aerial camera and subsequent evaluation in the 3D stereo model and the measurement with a GNSS device. The resulting trail has provided tremendous benefits in determining path limit points in the 3D stereo model. Furthermore, it was possible to measure the forest routes with a GNSS device. Un measurable points could be determined by computational approaches.

Keywords: forest land consolidation, photogrammetry, 3D stereo model, global navigation satellite system (GNSS), waypoint calculation, forest routes

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis **8**

Abbildungsverzeichnis **10**

Tabellenverzeichnis **14**

1 Einleitung **15**

2 Stand der Forschung **17**

2.1 Innovative Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung 17

2.2 Forschungsfragen 19

3 Waldflurbereinigung **20**

3.1 Ablauf einer Waldflurbereinigung 20

3.2 Vermessungstechnische Bearbeitung einer Waldflurbereinigung 24

4 Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ **32**

4.1 Verfahrensübersicht 32

4.2 Auswahl der Wirtschaftswege 38

5 Vergleich der Messmethoden **43**

5.1 Photogrammetrie 43

5.1.1 Funktionsweise 44

5.1.2 Digitalisierung im Orthophoto 51

5.1.3 Digitalisierung im 3D-Stereomodell 56

5.1.4 Ergebnis 57

5.2 Globales Navigationssatellitensystem (GNSS) 66

5.2.1 Funktionsweise 67

5.2.2 Leica Viva GS 16 / Leica CS 20 (Hochschule Mainz) 77

5.2.3 Ergebnis 78

5.2.4 Leica Viva GS 14 / Getac F 110 (TZ DLR) 85

5.2.5 Ergebnis 86

5.3 Vergleich 93

6 Rechnerische Ergänzung nicht messbarer Wegeseiten 102

6.1 Berechnungsarten in GRIBS 102

6.2 Ergebnis der Berechnungen 107

7 Mögliche Anwendung in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz 111

8 Fazit 113

Literaturverzeichnis 115

Anhang: Inhalte der DVD 119

Eidesstattliche Erklärung 120

Abkürzungsverzeichnis

AP	Aufnahmepunkt
DAVID	Digitalisierung, Aufbereitung und Verbesserung inhomogener Daten
DGM	Digitales Geländemodell
DLR	Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum
EPS	Echtzeit Positionierungs-Service
FKP	Flächenkorrekturparameter
FlurbG	Flurbereinigungsgesetz
GLONASS	Globalnaja Nawigazionnaja Sputnikowaja Sistema, deutsch Globales Satellitennavigationssystem
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPS	Global Positioning System
GRIBS	Graphisches Informations- und Bearbeitungssystem
GST	Genauigkeitsstufe
HEPS	Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service
ibR	Ingenieurbüro Riemer
IMU	Inertiale Messeinheit
LGVerm	Landesgesetz über das amtliche Vermessungswesen
LVermGeo	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz
MAC	Master-Auxiliary Concept
Ntrip	Networked Transport of RTCM via Internet Protokoll
ÖbVI	Öffentlich bestellten Vermessungsingenieur
PU	Projektbezogene Untersuchung
PuDig	Punktfestlegung durch Digitalisierung
RiLiV	Richtlinien für das Verfahren bei Liegenschaftsvermessungen in Rheinland-Pfalz

RTCM	Radio Technical Commission for Maritime services
SAPOS	SAPOS® Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SGL	Sachgebietsleiter Planung und Vermessung
TG	Teilnehmergemeinschaft
TZ	Technische Zentralstelle
VermKV	Vermessungs- und Katasterverwaltung
VRS	Virtuelle Referenzstation
ZusVermFlurb	Zusammenarbeit der Vermessungs- und Katasterbehörden und der Flurbereinigungsbehörden in Bodenordnungsverfahren

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3 - 1: Skizze für die Abgrenzung eines Verfahrensgebietes [Bottler (2002)] 25
Abb. 3 - 2: Karte zum Vermessungskonzept 26
Abb. 3 - 3: Signalisierung und Grenzfestlegung [Baadte (2014)] 28
Abb. 3 - 4: Bsp. 1 unklare Eigentumsstruktur im Verfahren Hinterhausen-Büdesheim [Schumann (2011)] 29
Abb. 3 - 5: Bsp. 2 unklare Eigentumsstruktur im Verfahren Hinterhausen-Büdesheim [Schumann (2011)] 29
Abb. 3 - 6: Bsp. 3 unklare Eigentumsstruktur im Verfahren Hinterhausen-Büdesheim [Schumann (2011)] 29
Abb. 3 - 7: Abgemarkte Grenzen und Blockgrenzen im Verfahren Schönecken [Schumacher (1998)] 30
Abb. 3 - 8: Tatsächlich abgemarkte Grenzen des Verfahrens Schönecken [Schumacher (1998)] 31
Abb. 4 - 1: Waldflurbereinigungsverfahren "Lug" 33
Abb. 4 - 2: Ungünstige Flurstücksformen 33
Abb. 4 - 3: Wertermittlungsrahmen 35
Abb. 4 - 4: Wege- und Gewässerplan 37
Abb. 4 - 5: Weg 104, 105, 106 39
Abb. 4 - 6: Weg 113 40
Abb. 4 - 7: Weg 115, 117 41
Abb. 4 - 8: Weg 124 42
Abb. 5 - 1: Bildflug [Geoplana (2019a)] 44
Abb. 5 - 2: Flugstreifen und Bildmitten [Theisen (2019b)] 45
Abb. 5 - 3: Passpunktkarte 46
Abb. 5 - 4: Signalisierungskarte in GRIBS [Theisen (2019a)] 46
Abb. 5 - 5: Signalisierung in der Örtlichkeit 46
Abb. 5 - 6: Omega (Roll), Phi (Pitch), Kappa (Yaw) [Schlüter (2018)] 47
Abb. 5 - 7: Verknüpfungspunkte in mehreren Bildern [Theisen (2019a)] 48
Abb. 5 - 8: Aerotriangulation [Theisen (2019a)] 48
Abb. 5 - 9: Koordinatenkontrolle 49
Abb. 5 - 10: Prozesskette der Luftbildphotogrammetrie [Schlüter (2018)] 50
Abb. 5 - 11: Orthophoto Herstellung [Geoplana (2019c)] 51

Abb. 5 - 12: Weg 104, 105, 106 Keine Bodensicht 53
Abb. 5 - 13: Weg 104, 105, 106 Gute Bodensicht 53
Abb. 5 - 14: Weg 104, 105, 106 Vereinzelte Schatten 53
Abb. 5 - 15: Weg 104, 105, 106 Überhang der Bäume 53
Abb. 5 - 16: Weg 113 Bereich mit guter Trassenfreistellung 54
Abb. 5 - 17: Weg 113 Keine Sicht durch Schattenwurf 54
Abb. 5 - 18: Weg 113 Überhang der Bäume 54
Abb. 5 - 19: Weg 115, 117 Gute Bodensicht 55
Abb. 5 - 20: Weg 115, 117 Etwas Schattenwurf 55
Abb. 5 - 21: Planar SD2020 [Theisen (2019a)] 56
Abb. 5 - 22: Funktionsweise Planar SD2020 [Theisen (2019a)] 56
Abb. 5 - 23: Weg 104, 105, 106 Starker Schattenwurf 58
Abb. 5 - 24: Weg 104, 105, 106 Kein Schattenwurf 58
Abb. 5 - 25: Weg 104, 105, 106 Freistellung des Weges 59
Abb. 5 - 26: Weg 104, 105, 106 Überhang der Bäume 59
Abb. 5 - 27: Weg 104, 105, 106 Erste Signale vor Ort 60
Abb. 5 - 28: Weg 104, 105, 106 Erste Signale im Orthophoto 60
Abb. 5 - 29: Weg 104, 105, 106 Zweite Signale vor Ort 60
Abb. 5 - 30: Weg 104, 105, 106 Zweite Signale im Orthophoto 60
Abb. 5 - 31: Weg 113 Nicht messbarer Bereich 61
Abb. 5 - 32: Weg 113 Messbarer Bereich 61
Abb. 5 - 33: Weg 113 Nicht messbar aufgrund von Überhang 61
Abb. 5 - 34: Weg 113 Erste Signale vor Ort 62
Abb. 5 - 35: Weg 113 Erste Signale im Orthophoto 62
Abb. 5 - 36: Weg 113 Zweite Signale vor Ort 62
Abb. 5 - 37: Weg 113 Zweite Signale im Orthophoto 62
Abb. 5 - 38: Weg 115, 117 Wenig Überhang 63
Abb. 5 - 39: Weg 115, 117 Größerer Überhang 63
Abb. 5 - 40: Weg 124 Keine Bodensicht 64
Abb. 5 - 41: Weg 124 Signale vor Ort 64
Abb. 5 - 42: Weg 124 Luftbild Nr. 9 65
Abb. 5 - 43: Weg 124 Luftbild Nr. 37 65
Abb. 5 - 44: GPS Satellit [Zogg (2011)] 68
Abb. 5 - 45: 6 Bahnen um die Erde [Zogg (2011)] 68

Abb. 5 - 46: Positionsbestimmung [Zogg (2011)] 70
Abb. 5 - 47: Prinzip der Referenzstation [LGL (2019)] 72
Abb. 5 - 48: Prinzip der VRS und FKP [LGL (2019)] 74
Abb. 5 - 49: Prinzip des MAC [LGL (2019)] 74
Abb. 5 - 50: SAPOS-Stationen in Rheinland-Pfalz [LVermGeo (2019)] 75
Abb. 5 - 51: SAPOS-Dienste im Überblick [AdV (2019)] 76
Abb. 5 - 52: Leica Viva GS 16 / Leica CS 20 77
Abb. 5 - 53: Netzabdeckung Telekom [Telekom (2019)] 78
Abb. 5 - 54: Weg 104, 105, 106 Empfang von Korrekturdaten 79
Abb. 5 - 55: Weg 104, 105, 106 Genauigkeit der Messung im nördlichen Bereich 80
Abb. 5 - 56: Weg 104, 105, 106 Messung vor Ort 81
Abb. 5 - 57: Weg 104, 105, 106 Genauigkeit der Messung im südlichen Bereich 81
Abb. 5 - 58: Weg 104, 105, 106 Punkte im Orthophoto 82
Abb. 5 - 59: Weg 113 Empfang von Korrekturdaten 82
Abb. 5 - 60: Weg 115, 117 Empfang von Korrekturdaten 83
Abb. 5 - 61: Weg 115, 117 Messung vor Ort 83
Abb. 5 - 62: Weg 115, 117 Genauigkeit der Messung 84
Abb. 5 - 63: Leica Viva GS 14 / Getac F 110 86
Abb. 5 - 64: Netzabdeckung Vodafone [Vodafone (2019)] 87
Abb. 5 - 65: Weg 104, 105, 106 Unterschiedliche Initialisierungsberieche 88
Abb. 5 - 66: Weg 113 Punkte im Orthophoto 88
Abb. 5 - 67: Weg 113 Messung vor Ort 89
Abb. 5 - 68: Weg 113 Genauigkeit der Messung 89
Abb. 5 - 69: Weg 113 Überhang der Bäume 90
Abb. 5 - 70: Weg 113 Dichter Nadelwald 90
Abb. 5 - 71: Weg 113 Messbare und nicht messbare Bereiche 91
Abb. 5 - 72: Weg 115, 117 Genauigkeit der Messung 91
Abb. 5 - 73: Weg 115, 117 Messbare und nicht messbare Bereiche 92
Abb. 5 - 74: Weg 104, 105, 106 Vergleich der Messmethoden 1/3 94
Abb. 5 - 75: Weg 104, 105, 106 Vergleich der Messmethoden 2/3 94
Abb. 5 - 76: Weg 104, 105, 106 Vergleich der Messmethoden 3/3 94
Abb. 5 - 77: Weg 113 Vergleich der Messmethoden 95

Abb. 5 - 78: Weg 115, 117 Vergleich der Messmethoden 95
Abb. 5 - 79: Passende Absteckung vor Ort 96
Abb. 5 - 80: Passende Absteckungsergebnisse 96
Abb. 5 - 81: Zu schmal digitalisierte Wegegrenze 96
Abb. 5 - 82: Absteckungsergebnisse 96
Abb. 5 - 83: AP in der Örtlichkeit 97
Abb. 5 - 84: AP im Orthophoto 97
Abb. 5 - 85: Mittel der GNSS Bestimmung 98
Abb. 5 - 86: AP GNSS-Messung 98
Abb. 5 - 87: AP Bildverarbeitung 99
Abb. 5 - 88: AP Polygonzugmessung 99
Abb. 6 - 1: Berechnungsarten in GRIBS 103
Abb. 6 - 2: Orthogonalpunktberechnung 103
Abb. 6 - 3: Geradenschnitt 104
Abb. 6 - 4: Arten der Wegepunktberechnung in GRIBS 105
Abb. 6 - 5: Ein Neupunkt im Winkelraum 106
Abb. 6 - 6: Zwei Neupunkte im Winkelraum 107
Abb. 6 - 7: Drei Neupunkte im Winkelraum 107
Abb. 6 - 8: Weg 113 Wegepunktberechnung 108
Abb. 6 - 9: Weg 104, 105, 106 Wegepunktberechnung 1/2 109
Abb. 6 - 10: Weg 104, 105, 106 Wegepunktberechnung 2/2 110
Abb. 7 - 1: Signalisierung von APs [Baadte (2014)] 111

Tabellenverzeichnis

Tab. 5 - 1: Restklaffen der Passpunkte 48
Tab. 5 - 2: Abweichungen der Messmethoden untereinander..... 100

1 Einleitung

In Deutschland bedecken Wälder knapp ein Drittel der Fläche und sind wichtige Ökosysteme sowie ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. Rheinland-Pfalz ist das relativ waldreichste Bundesland in Deutschland. Über 42% der Landesfläche, 840.000 Hektar, sind mit Wald bedeckt. Um auch in Zukunft den Wald weiter mit seinen Funktionen zur Erholung, der Forstwirtschaft und des Schutzes zu nutzen, müssen die strukturellen Nachteile beseitigt werden. Gerade in den kleinparzellierten und schlecht erschlossenen Privatwäldern sind Bewirtschaftungsbedingungen herzustellen, die eine nachhaltige Forstwirtschaft zulassen. Der Handlungsbedarf ist groß, da knapp die Hälfte der deutschen Forstfläche in privater Hand liegt und davon 75% zum Kleinprivatwald zählen, in dem Strukturmängel Bewirtschaftungshindernisse darstellen.

Nach [Hinz (2012)] ist das geeignete Instrument zur Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Forstwirtschaft die Waldflurbereinigung. Bei der Waldflurbereinigung sind wegen der Unzugänglichkeit des Geländes und schlechten Sichten die vermessungstechnischen Arbeitsbereiche ein besonders zeitaufwendiger Prozess. Daher wird schon seit vielen Jahrzehnten versucht diese Arbeiten zu vereinfachen.

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit dem vereinfachen der Aufmessungsarbeiten der Wirtschaftswege in einer Waldflurbereinigung. Dabei soll die Leistungsfähigkeit der, in der rheinland-pfälzischen Flurbereinigungsverwaltung schon eingesetzten, Photogrammetrie und der GNSS-Messung durch die Verwendung nach dem Ausbau der Wirtschaftswege untersucht und gesteigert werden. Durch die entstandene Schneise bei der Trassenfreistellung ist eine Bodensicht bei der Auswertung der Luftbilder im 3D-Stereomodell entstanden, sowie eine Verringerung der Abschattung durch die Bäume bei der GNSS-Messung. Untersucht wurden die Messmethoden im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“, dass durch den Ausbau der neuen Wirtschaftswege in den Jahren 2017 und 2018 ideale Bedingung für den Praxisvergleich lieferte.

Die Ergebnisse der beiden verschiedenen Vermessungsansätze wurden im Hinblick auf die Punktausfälle, auf die erzielten Genauigkeiten der Punktbestimmung, auf die Wirtschaftlichkeit und auf die Handhabbarkeit verglichen. Rechnerische Ansätze für nicht messbare Punkte wurden aufgezeigt und überprüft. Ein abschließender Vorschlag für

die Eignung der Kombination der erprobten Vorgehensweisen für die Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz wurde ausgearbeitet.

2 Stand der Forschung

Vermessungsarbeiten in einer Flurbereinigung sind aufwendige und zeitintensive Tätigkeiten. Aufgrund dessen wurde schon früh versucht die Vermessung so weit wie möglich zu vereinfachen. In einer Waldflurbereinigung erhöhen sich der Aufwand und die Zeitintensivität durch die erschwerten Messbedingungen in einem Wald. Daher müssen innovative Vermessungsverfahren für eine Waldflurbereinigung weiter untersucht werden. Im Kapitel 2.1 wird der Stand der Forschung zur Waldflurbereinigung mit Schwerpunkt innovative Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung dargestellt.

2.1 Innovative Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung

Die Luftbildvermessung wurde laut [Durben (1988)] schon in den 50er Jahren als wirtschaftliche und hinreichend genaue Methode für eine Neuvermessung in den Bodenordnungsverfahren eingeführt.

[Durben (1996)] beschreibt erstmals die Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig). Wichtigstes Ziel der Methode ist es, auf der Grundlage des Planes nach § 41 FlurbG die Koordinaten der geplanten neuen Grenzpunkte der Wege- und Gewässergrenzen sowie der neuen Flurstücksgrenzen, in der Regel ohne vorherige Abmarkung im Gelände, in ihrer jeweiligen Solllage zu bestimmen.

Im Flurbereinigungsverfahren Schönecken stellte [Schumacher (1998)] Überlegungen an, wie in einem ca. 200 Hektar großen geschlossenen Waldgebiet Kosten durch Unterbleiben der Abmarkung eingespart werden könnten. Dabei verzichtete er auf die Abmarkung der Wegegrenzen gegen die angrenzenden Eigentümerflurstücke.

Auf die vermessungstechnische Feststellung oder Wiederherstellung der Grenze des Flurbereinigungsgebietes, soweit sie zugleich Grenze einer gemeinschaftlichen oder öffentlichen Anlage ist, die zum Flurbereinigungsgebiet gehört, kann nach [Schmitt (2002)] verzichtet werden. Die Gebietsgrenze bleibt Vermessungstechnisch unberührt, während die Neuvermessungsgrenze sachgerecht neu bestimmt wird. Die Fläche der dazwischenliegenden Flurstücke, in der Regel eine gemeinschaftliche oder öffentliche Anlage, wird auf der Grundlage des bestehenden und neu bestimmten Liegenschaftsnachweises errechnet.

[Nick (2008)] zeigt neue Ansätze und Vorgehensweisen für die Waldflurbereinigung. Dabei soll eine Belebung der Waldflurbereinigung durch unterschiedliche Modelle der

Vorgehensweise erreicht werden. Beim Modell 1 handelt es sich um das klassische Flurbereinigungsverfahren für die Waldflurbereinigung. Das Modell 2 soll den besonderen Zweck „Waldflurbereinigung“ Rechnung tragen, dabei wird das Verfahren zerlegt um den Wegeausbau vorzuziehen und die Neugestaltung zeitversetzt nachzuziehen.

[Pawig (2009)] stellt Überlegungen in der Waldflurbereinigung an, die durch Optimierung der Verfahrensschritte, Vereinfachungen in der Vermessung und Veränderungen des Boden- und Bestandsbewertungsverfahrens Kosteneinsparungen erreichen sollen.

Um den hohen Zeitaufwand bei der Vermessung der Waldwege zu minimieren, sollen laut [Bald (2010)] die Waldwege mit einem kinematischen, terrestrischen, photogrammetrischen Stereoaufnahmesystem mit direkter Georeferenzierung mittels INS, GPS und Odometer, „eagle eye technologies“ aufgemessen werden.

Im ganzheitlichen Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung beschreibt [Hinz (2012)], welche Wertschöpfungspotentiale die Waldflurbereinigung bietet und dass weitere Effizienzsteigerungen in puncto technischer Bearbeitung nötig sind.

Im Waldflurbereinigungsverfahren „Thalfröschen“ zeigt [Baadte (2014)] die photogrammetrische Bestimmung von Aufnahmepunkten mit anschließender örtlicher Vermessung von vermarkten und unvermarkten Grenzen.

[Durben (2014)] zeigt die Leistungsfähigkeit der Photogrammetrie durch den Einsatz der Kreuzbefliegung am Beispiel der Waldflurbereinigung „Rinnthal“.

[Harnischfeger (2014)] beschreibt die Wirkung der gemeinsamen Waldbewirtschaftung und die Anwendung der Analyse von klassifizierten Laserscandaten zur Identifizierung von Waldwegen.

Einen Überblick über den Einsatz von moderner Technologie in der Flurbereinigung geben [Heitze, Malzer, Willmes (2016)] und gehen dabei auf die klassische terrestrische Einzelpunktbestimmung, luftbildgestützte Verfahren, mobile terrestrische Bildvermessung, Airborne Laser Scanning und Mobile Laser Scanning ein.

Beim Einsatz von Laserscanning in der Waldflurbereinigung berichtet [Helle (2018)] über eine Beschleunigung des Verfahrensablaufs, einen Mehrwert der vorhandenen Informationen, eine Anwendungsmöglichkeit für die Trassierung und die Kostenreduktion.

Im Waldflurbereinigungsverfahren „Unteres Trauntal“ zeigt [König (2018)] wie mit DGM1-Daten aus Laserscanningbefliegungen Schummerungen abgeleitet und weiterverarbeitet sowie mit einer Drohnenbefliegung und einer Wegebefahrung weitere innovative Vermessungsverfahren untersucht werden.

2.2 Forschungsfragen

Der Stand der Forschung zeigt, dass schon im Bereich der innovativen Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung Methoden gefunden und Überlegungen unternommen wurden, um eine Vereinfachung der Vermessung zu erreichen.

Diese Arbeit befasst sich jedoch, aufgrund der Befliegung und Vermessung nach dem Ausbau der Wirtschaftswege in einer Waldflurbereinigung, im Wesentlichen mit folgenden Forschungsfragen:

- Mit welcher Genauigkeit ist die Verwendung eines GNSS-Gerätes nach Ausbau der Wege im Wald möglich?
- Bringt die Befliegung nach Ausbau der Wege Vorteile bei der Auswertung im 3D-Stereomodell?
- Welche Potentiale bieten die ausgewählten Messmethoden für die Waldflurbereinigung in puncto Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit?
- Inwieweit ist die Bestimmung von ausgefallenen Wegeseiten durch rechnerische Ansätze in ausreichendem Maße möglich?

3 Waldflurbereinigung

Schon § 1 Flurbereinigungsgesetz (FlurbG) erwähnt, dass zur Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen, sowie zur Förderung der allgemeinen Landeskultur und der Landentwicklung forstwirtschaftliche Flächen durch Maßnahmen nach diesem Gesetz neugeordnet werden können. Gerade im Wald bestehen erhebliche Mängel, was eine ausreichende Erschließung durch Waldwege angeht, außerdem machen unwirtschaftlich geformte und meist zersplitterte Flurstücke eine Nutzung unrentabel. Nach [Hinz (2012)] ist das geeignete Instrument diese Mängel zu beheben die Waldflurbereinigung.

Der systematische Ablauf einer Waldflurbereinigung, sowie die vermessungstechnische Bearbeitung, werden in diesem Kapitel beschrieben.

3.1 Ablauf einer Waldflurbereinigung

Um eine Belebung der Waldflurbereinigung zu erreichen, beschreibt [Nick (2008)], dass zwei Modelle für den Ablauf eines Verfahrens entwickelt wurden.

Bei Modell 1 handelt es sich um ein klassisches Flurbereinigungsverfahren. Hier wird vor der Einleitung, im Rahmen der projektbezogenen Untersuchung, vom Forstamt überprüft, ob Privatwälder in das Verfahren integriert werden können. In diesem Modell ist eine enge Zusammenarbeit mit dem Forstamt und den Landesforsten anzustreben. Über die Förderung des Wegebaus, sowie die benötigten landespflegerischen Ausgleichsmaßnahmen, bringen sich die Landesforsten mit in das Verfahren ein. Die weiteren Kosten, sowie Bauträger der Maßnahmen, ist hier immer die Teilnehmergemeinschaft. Durch den forstlich geförderten Wegebau gelten die forstlichen Ausbaustandards, die bei der Planfeststellung schon feststehen müssen. Beim Abschluss des Verfahrens ist die Übernahme der Wege durch die Gemeinde sicherzustellen [MWVLW (2009)].

Nachfolgend wird der Ablauf eines Waldflurbereinigungsverfahrens erläutert:

Vor der Anordnung eines Verfahrens sind die geforderten Voraussetzungen und das objektive Interesse der Beteiligten an dem vorgesehenen Verfahren nachzuweisen. Hierzu erstellt die Flurbereinigungsbehörde eine „Projektbezogene Untersuchung“ (PU) für das geplante Verfahrensgebiet, welche die Notwendigkeit der Flurbereinigung

nachweist. Im Zuge der PU sollte auch schon das Vermessungskonzept mit der zweckmäßigen Abgrenzung des Verfahrensgebietes aufgestellt werden.

Die zu beteiligenden Behörden und Verbände werden über das geplante Flurbereinigungsverfahren unterrichtet, sowie die voraussichtlich betroffenen Grundstückseigentümer in einer Aufklärungsversammlung über das Ziel und Zweck des anstehenden Verfahrens, die Abgrenzung des Verfahrensgebietes, den verfahrenstechnischen Ablauf und die voraussichtlichen Kosten und deren Finanzierung informiert. Wurden alle Beteiligten unterrichtet und aufgeklärt, kann die Flurbereinigungsbehörde den Flurbereinigungsbeschluss erlassen und die Flurbereinigung nach § 4 FlurbG anordnen.

Mit der Anordnung des Verfahrens entsteht nach dem Flurbereinigungsgesetz die Teilnehmergemeinschaft. Ihre Mitglieder sind die Grundstückseigentümer und Erbbauberechtigten im Flurbereinigungsgebiet. In einer Teilnehmerversammlung wird der Vorstand gewählt, der die Teilnehmer des Verfahrens vertritt. Die Teilnehmergemeinschaft hat die gemeinschaftlichen Anlagen herzustellen und zu unterhalten, sowie die im Verfahren festgesetzten Zahlungen zu leisten und zu fordern.

Um die Teilnehmer mit Land von gleichem Wert abfinden zu können, ist der Wert der alten Grundstücke zu ermitteln. Dabei muss sowohl eine Wertermittlung für den Boden, als auch für den Aufwuchs durchgeführt werden. Diese wird jeweils von einem unabhängigen Sachverständigen für eine Boden- oder Waldbewertung erledigt. Die Bewertungsergebnisse werden öffentlich ausgelegt und in Karten dargestellt. Anschließend wird das Ergebnis der Wertermittlung festgestellt und der Feststellungsbeschluss wird öffentlich bekannt gemacht.

Im Benehmen mit dem Vorstand und in Absprache mit allen berührten Trägern öffentlicher Belange, wird der Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischem Begleitplan nach § 41 FlurbG aufgestellt. Dieser Plan regelt die Neugestaltung der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen, insbesondere der Wege, Gewässer und landschaftsgestaltenden Anlagen des Verfahrens. Bestandteile sind die Karte zum Plan, der Erläuterungsbericht und das Verzeichnis der Festsetzungen. Festgestellt wird der Wege- und Gewässerplan durch die obere Flurbereinigungsbehörde. Danach können die neuen gemeinschaftlichen Anlagen vor Ort ausgebaut und aufgemessen werden.

Vor Aufstellung des Flurbereinigungsplanes haben die Teilnehmer im Planwunschtermin Gelegenheit, ihre Wünsche für die Landabfindung zu äußern. Es wird insbesondere darauf hingewiesen, dass es im Planwunschtermin darauf ankommt, die Wünsche der

Eigentümer kennenzulernen, die Erfüllung der Wünsche jedoch nicht garantiert werden kann.

Mit der vorläufigen Besitzeinweisung können die Beteiligten bereits vor dem Eintritt des neuen Rechtszustandes vorläufig in den Besitz der neuen Grundstücke eingewiesen werden, wenn die neuen Grenzen in die Örtlichkeit übertragen worden sind und endgültige Nachweise für Fläche und Wert der neuen Grundstücke vorliegen, sowie das Verhältnis der Abfindung zu dem von jedem Beteiligten Eingebrachten feststeht. Dabei ist die neue Feldeinteilung den Beteiligten bekannt zu geben und ggf. an Ort und Stelle zu erläutern.

Im Flurbereinigungsplan fasst die Flurbereinigungsbehörde die Ergebnisse des Verfahrens zusammen. Die Waldgrundstücke müssen in der Beschaffenheit, Bodengüte oder Entfernung vom Wirtschaftshof den alten Grundstücken entsprechen, soweit es mit einer großzügigen Zusammenlegung nach neuzeitlichen betriebswirtschaftlichen Erkenntnissen vereinbar ist. Bestandteile sind die Nachweise über die alten und neuen Grundstücke der Beteiligten, die Regelung der Rechtsverhältnisse und den Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischem Begleitplan.

Mit der anschließenden Ausführungsanordnung wird der Tag festgelegt, an dem der alte Rechtszustand durch den im Flurbereinigungsplan nachgewiesenen neuen Bestand ersetzt wird. An die Stelle der im Grundbuch vorgetragenen alten Grundstücke treten die neu gebildeten Abfindungsgrundstücke. Die Flurbereinigungsbehörde hat des Weiteren die Möglichkeit, eine vorzeitige Ausführungsanordnung zu erlassen, wenn sie die verbliebenen Widersprüche gegen den Flurbereinigungsplan der Spruchstelle für Flurbereinigung zur Entscheidung vorgelegt hat und aus einem längeren Aufschub voraussichtlich Nachteile für die Teilnehmer entstehen würden.

Nach dem Eintritt des neuen Rechtszustandes sind die öffentlichen Bücher auf Ersuchen der Flurbereinigungsbehörde, mit den im Flurbereinigungsplan zusammengefassten Ergebnissen der Bodenordnung, zu berichtigen. Die wichtigsten Bücher sind dabei das Grundbuch und das Liegenschaftskataster.

Mit der Schlussfeststellung stellt die Flurbereinigungsbehörde fest, dass die Ausführung nach dem Flurbereinigungsplan bewirkt ist und dass den Beteiligten keine Ansprüche mehr zustehen, die im Bodenordnungsverfahren hätten berücksichtigt werden müssen. Die gemeinschaftlichen Anlagen wurden der Ortsgemeinde zur Unterhaltung

übergeben und mit der Zustellung der rechtskräftig gewordenen Schlussfeststellung an die Teilnehmergemeinschaft, ist das Bodenordnungsverfahren beendet.

Das Modell 2 ist gedacht für die Fälle, in denen der Wald einen neuen Anlass für bisher nicht geplante Flurbereinigungsverfahren liefert. Bei diesem Modell soll das Flurbereinigungsverfahren angeordnet werden, um dem besonderen Zweck „Waldflurbereinigung" Rechnung zu tragen. Nach der Verfahrensanordnung ist ein Erschließungskonzept zu entwickeln und Baurecht mit dem Wege- und Gewässerplan nach § 41 FlurbG durch Plangenehmigung oder Planfeststellung zu schaffen. Auf dieser Grundlage kann dem Forstamt mit einer vorläufigen Anordnung nach § 36 FlurbG die Einweisung in die für den Bau benötigten Flächen verschafft werden. In der Regel stellt das Forstamt einen Kostenplan für den Wegebau auf und plant und baut in Eigenregie für den Träger der Erschließungsmaßnahme. Kostenträger kann auch hier die Teilnehmergemeinschaft neben Gemeinden oder Verbandsgemeinden sein. Die eigentlichen Bodenordnungsmaßnahmen erfolgen bei Modell 2 langjährig zeitversetzt. Um aufwendige Vorarbeit zu vermeiden, soll die Initiative zur Einleitung der Waldflurbereinigungen nach diesem Modell von den Waldbauvereinen und Gemeinden ausgehen. Diese stellen einen Antrag beim DLR und es wird eine „Projektbezogene Untersuchung" durchgeführt [MWVLW (2009)].

Zusammenfassend formuliert, sollen mit einem möglichst geringen personellen Aufwand, zügig die baurechtlichen Voraussetzungen für einen zweckmäßigen Wegebau geschaffen werden um damit das Potential im Privatwald zu erschließen.

Ein denkbarer Verfahrensablauf für das Modell 2 ist nach [Nick (2008)]:

- Arbeiten vor der Anordnung:
  - Bedarfsmeldung an DLR (Forstamt, Ortsgemeinde, Waldbauvereine)
  - Vorgespräche mit Ortsgemeinde, Verbandsgemeinde, Waldbauvereinen, Jagdgenossenschaft
  - Information der Waldeigentümer
  - Antrag der Gemeinde oder des Waldbauvereins auf Durchführung eines Verfahrens
  - Vereinfachte projektgebundene Untersuchung
  - Abstimmung Verfahrensgrenze mit Vermessungs- und Katasteramt (Minimierung der Kosten zur Feststellung der Verfahrensgrenze)
  - Aufklärungsversammlung

- Arbeiten nach der Anordnung:
  - Schaffung Baurecht auf der Grundlage des Flurbereinigungsgesetzes
  - Erfassung Bestandswerte innerhalb der Wegetrassen
  - Erlass einer vorläufigen Anordnung nach § 36 FlurbG
  - Ausbau der Wege
- Später:
  - Bestandswertermittlung nach Bedarf
  - Planwunsch
  - Endgültiges Vermessungskonzept
  - Flurbereinigungsplan

3.2 Vermessungstechnische Bearbeitung einer Waldflurbereinigung

Noch vor der Anordnung eines Flurbereinigungsverfahrens beginnt die vermessungstechnische Bearbeitung. Im Zuge der projektbezogenen Untersuchung soll schon eine nach § 7 FlurbG zweckmäßige Abgrenzung des Verfahrensgebietes stattfinden, um den Zweck der Flurbereinigung vollkommen zu erreichen. Dabei bestimmt § 56 FlurbG, dass vor der Aufstellung des Flurbereinigungsplanes die Flurbereinigungsbehörde, soweit es erforderlich ist, feste Grenzzeichen an der Grenze des Flurbereinigungsgebietes zu errichten und sicherzustellen hat. Das Erfordernis zur Errichtung fester Grenzzeichen ergibt sich aus dem Zweck der Flurbereinigung (Kenntlichmachung der Landabfindung) und aus dem Abmarkungsrecht des Landesgesetzes über das amtliche Vermessungswesen (LGVerm).

Die Herstellung der Verfahrensgrenze wird traditionell auf Grundlage des Katasternachweises durchgeführt. Die Liegenschaftszahlen und das Kartenmaterial werden von der Vermessungs- und Katasterverwaltung übernommen. Da es sich in Flurbereinigungsgebieten oft um Urkataster handelt, ist eine Feststellung der Verfahrensgrenze sehr aufwendig. Dadurch dass die DLR nur eine Wiederherstellung der Verfahrensgrenze durchführen dürfen und die Feststellung der Verfahrensgrenze nur durch die Vermessungs- und Katasterverwaltung (VermKV) oder einen öffentlich bestellten Vermessungsingenieur (ÖbVI) erledigt werden kann, entstehen hohe Gebühren.

Bei einem Flurbereinigungsgebiet von mehreren Hektar Größe und einem Verfahrensumring von mehreren Kilometern Länge, mit vielen Grenzpunkten, entsteht ein erheblicher Kostenaufwand, aus dem kein belegbarer Vorteil hervorgeht. Aufgrund dessen

hat die rheinland-pfälzische Flurbereinigungsverwaltung nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht. Dabei wurde der „Verzicht auf Grenzfeststellung durch optimale Gebietsabgrenzung“ eingeführt. Hier handelt es sich um das Prinzip, dass die Gebietsgrenze nicht identisch mit der Neuvermessungsgrenze des Bodenordnungsverfahrens ist.

Dabei bleibt nach [Schmitt (2002)] die Gebietsgrenze vermessungstechnisch unberührt, während die Neuvermessungsgrenze im Zuge der Bodenordnung sachgerecht neu bestimmt wird. Die Fläche der dazwischenliegenden Flurstücke, in der Regel eine gemeinschaftliche oder öffentliche Anlage, wird auf der Grundlage des bestehenden und neu bestimmten Liegenschaftsnachweises errechnet. Die Abbildung 3-1 verdeutlicht dieses Prinzip.

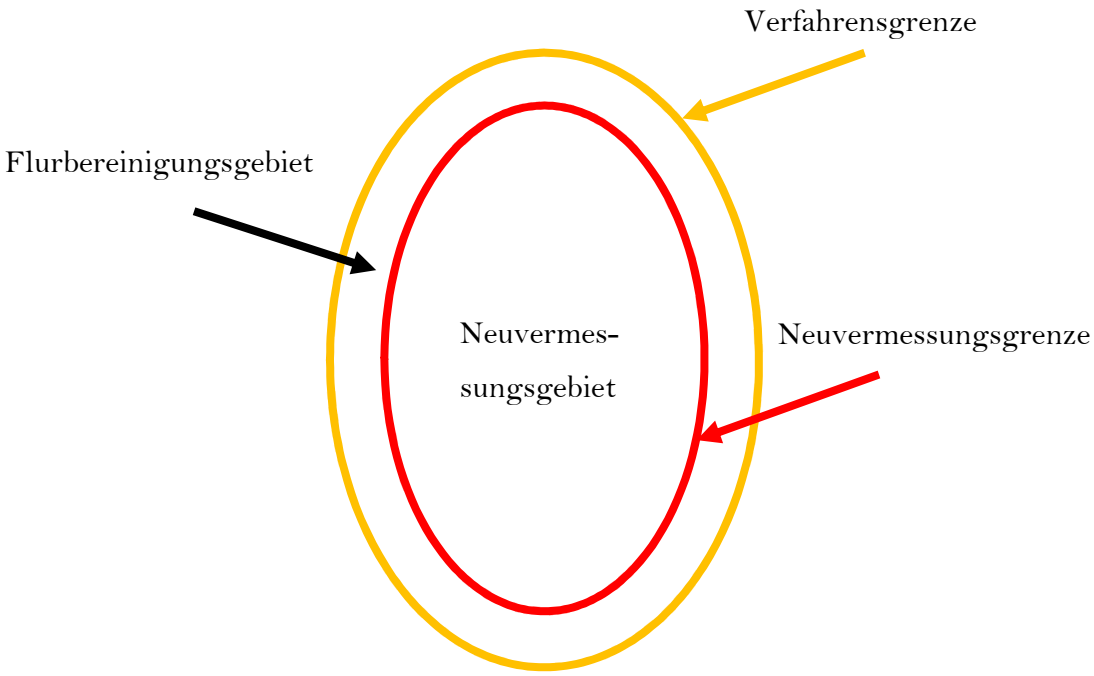


Abb. 3 - 1: Skizze für die Abgrenzung eines Verfahrensgebietes [Bottler (2002)]

Voraussetzung für das Unterlassen der Grenzermittlung an gemeinschaftlichen oder öffentlichen Anlagen, an die die Grenze dann jeweils zu legen ist, ist die Prüfung, dass eine sichtbare Verlagerung in der Örtlichkeit nicht stattgefunden hat. Dies kann in der Regel durch einen häuslichen Vergleich des Orthophotos mit der Liegenschaftskarte sichergestellt werden.

Bei der Abgrenzung entlang eines Waldgrundstückes bieten sich sogenannte „Sonderungen“ an, bei denen das Waldflurstück vorübergehend in zwei Teile zerlegt wird,

hierbei kann auf die vermessungstechnische Feststellung oder Wiederherstellung der Grenze des Flurbereinigungsgebiets weitgehend verzichtet werden.

Eine weitere Möglichkeit auf die Bestimmung und Abmarkung der Verfahrensgrenze zu verzichten ist, wenn die Koordinaten der Grenzpunkte den Anforderungen an das Koordinatenkataster genügen oder mit einer der Genauigkeitsstufen (GST) 2100 bis 2300 vorliegen.

Geregelt werden die Verfahren im gemeinsamen Rundschreiben, Zusammenarbeit der Vermessungs- und Katasterverwaltung und der Flurbereinigungsverwaltung in Bodenordnungsverfahren nach dem Flurbereinigungsgesetz (ZusVermFlurb) im Abschnitt 4.2.

Ist eine zweckmäßige Abgrenzung des Verfahrensgebietes mit den zuvor genannten Möglichkeiten gefunden, muss eine Karte zum Vermessungskonzept erstellt werden. In diesen Karten ist dann zu unterscheiden, ob eine Fortführung (Sonderung), Genzfeststellung durch VermKA oder ÖbVI, Wiederherstellung durch VermKA, ÖbVI oder Flurbereinigungsbehörde durchzuführen ist, ein Flurbereinigungsverfahren angrenzt oder eine Neuvermessungsgrenze entsteht. Die Abbildung 3-2 zeigt einen Ausschnitt aus der Karte zum Vermessungskonzept des Waldflurbereinigungsverfahrens „Thalfröschen“.

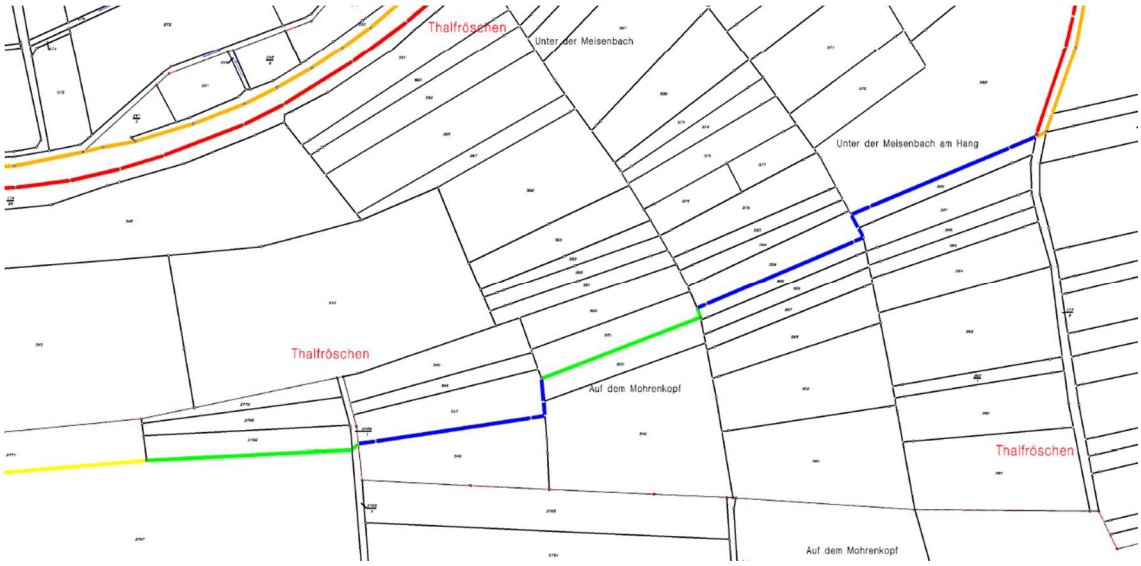


Abb. 3 - 2: Karte zum Vermessungskonzept

Im Vermessungskonzept werden alle Vermessungsarbeiten, die in einem Flurbereinigungsverfahren anfallen, aufgestellt. Noch vor der Karte zum Vermessungskonzept,

werden Aussagen über den Zustand des Kataster getroffen, die bei der Verfahrensvorbereitung benötigt werden. Dann folgt die Gebietsabgrenzung mit der Karte zum Vermessungskonzept. Der Zeitpunkt für die Verdichtung des AP-Netzes und welche Vermessungsmethoden bei der Neuvermessung sowie bei der Absteckung der neuen Flurstücke eingesetzt werden, wird festgelegt. Abschließend soll ein Termin für die Berichtigung des Liegenschaftskatasters bestimmt werden.

Die Verdichtung des AP-Netzes kann mit der Festlegung der Passpunkte für die Befliegung des Flurbereinigungsverfahrens erfolgen. Zusammen mit dem Passpunktbestimmer werden die Punkte vor Ort festgelegt, mit einem GNSS-Gerät bestimmt und anschließend signalisiert. Der genaue Ablauf der Photogrammetrie wird in Kapitel 5.1 erläutert.

Bei der Wertermittlung ist eine Orientierung im Gelände für die Eintragung der Bohrlöcher in der Wertermittlungskarte nicht immer ohne weiteres gegeben. Im Wald erschwert sich die Orientierung durch fehlende Anhaltspunkte noch weiter. Um dann genau festzulegen, in welchem Flurstück sich ein Baum befindet, stehen den DLR Feldtaugliche Tablets zur Verfügung, die über einen GNSS-Empfänger verfügen. Damit ist eine Ortung im Meterbereich möglich, was die Orientierung im Wald erheblich steigert.

Die größten und zeitaufwendigsten Vermessungsarbeiten in der Waldflurbereinigung sind das Aufmessen der neuen Wege und das Übertragen der neuen Flurstücksgrenzen in die Örtlichkeit. Um dabei Zeit und Kosten zu sparen hat sich die Flurbereinigungsverwaltung in Rheinland-Pfalz vereinfachte Lösungen erarbeitet. Ein wichtigster Punkt ist dabei die Photogrammetie mit der von [Durben (1996)] beschriebenen Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig). Die Möglichkeiten der Bestimmung von Sollpunkten im Orthophoto oder im 3D-Stereomodell sind Thema im Kapitel 5.1 und werden dort genauer beschrieben.

Die weitere Methode PuDig in der Örtlichkeit wurde in Kombination mit der Photogrammetrie im Waldflurbereinigungsverfahren „Thalfröschen“ angewendet. Da die vorgesehene Festlegung der neuen Wegegrenzen sowohl im Orthophoto als auch im Stereomodell nicht möglich war, zeigt [Baadte (2014)], wie durch die Signalisierung von APs in mitten der Wegetrasse und die anschließende Bestimmung der APs durch die Photogrammetrie, ein Aufmessen der Wege mittels Tachymeter schnell und problemlos möglich wurde. Die Abbildung 3-3 stellt die Signalisierung der APs sowie die Festlegung der Wege- und Eigentumsgrenzen da.

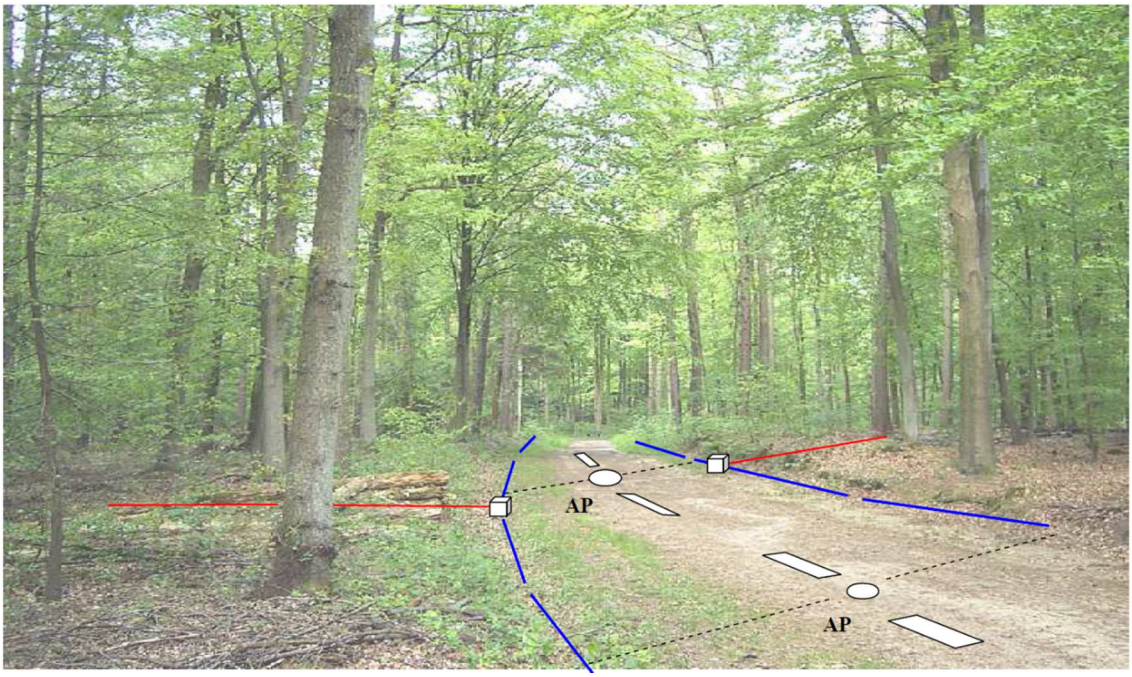


Abb. 3 - 3: Signalisierung und Grenzfestlegung [Baadte (2014)]

Dabei ist auf der Abbildung 3-3 auch zu erkennen, dass nur die Grenzpunkte zwischen den Eigentümern vermarkt wurden und die Wegegrenzen unvermarkt bleiben. Der Verzicht auf Abmarkung der Grenzen stellt eine weitere Möglichkeit dar, die zeit- und kostenaufwendige Vermessung zu reduzieren.

Die Grundlage für einen Verzicht auf Abmarkung bildet das Landesgesetz über das amtliche Vermessungswesen. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten: Ein Eigentümer oder Erbbauberechtigter kann einen Antrag auf unterbleiben der Abmarkung der Grenze stellen oder eine Behörde kann aus Gründen der Zweckmäßigkeit die Abmarkung unterlassen, dieses Vorgehen trifft dann auch auf die Flurbereinigungsbehörde zu.

Bei landwirtschaftlich, weinbaulich, forstwirtschaftlich oder landespflegerisch genutzten Grundstücken ist eine Abmarkung zweckmäßigerweise zu unterlassen, wenn diese dauerhaft zusammen bewirtschaftet oder stillgelegt sind.

Jedoch stellt [Hinz (2012)] heraus, dass die Grenzsicherheit einer der wichtigsten Punkte in einer Waldflurbereinigung ist und somit eine Abmarkung zwischen den Eigentümern nötig ist. Dies zeigte auch [Schumann (2011)] an drei Beispielen aus dem Flurbereinigungsverfahren Hinterhausen-Büdesheim, dort ist zu sehen, dass Aufgrund der unklaren Eigentumsstruktur, die tatsächliche Lage des Flurstückes oftmals an einer anderen Stelle ist.

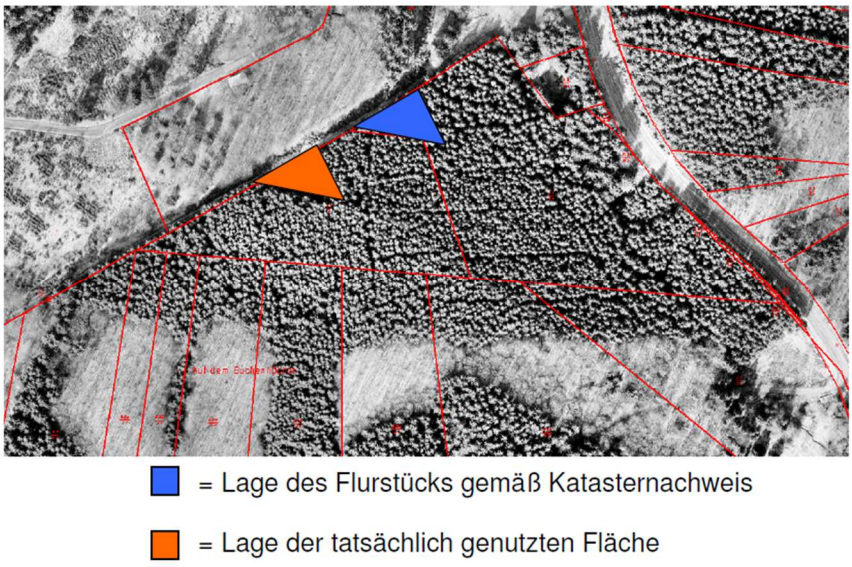


Abb. 3 - 4: Bsp. 1 unklare Eigentumsstruktur im Verfahren Hinterhausen-Büdesheim [Schumann (2011)]

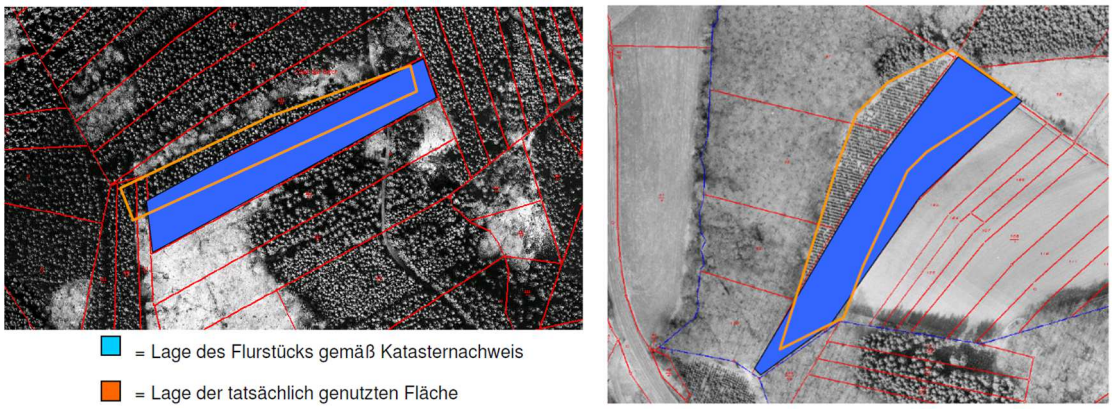


Abb. 3 - 5: Bsp. 2 unklare Eigentumsstruktur im Verfahren Hinterhausen-Büdesheim [Schumann (2011)]

Abb. 3 - 6: Bsp. 3 unklare Eigentumsstruktur im Verfahren Hinterhausen-Büdesheim [Schumann (2011)]

Schon [Schumacher (1998)] stellte Überlegungen im Flurbereinigungsverfahren Schönecken an, welche Kosten in einem ca. 200 Hektar großen geschlossenen Waldgebiet, auch in schwierigem Gelände mit einer Querneigung von 30 bis 50 % und einer nicht vorhandenen Erschließung eingespart werden können.

Durch den Verzicht, jede Wegeausrundung durch einen Stein abzumarken, sparte er in dem Verfahren Schönecken ca. 1000 Steine an Abmarkungsmaterial ein.

Da die Rechtsgrundlage für den Abmarkungsverzicht im Jahr 1998 bei Schumacher noch nicht vorlag, musste noch mit jedem Eigentümer über die entfallende Abmarkung verhandelt werden. Mit der Vermarkung der abgehenden Eigentumsgrenzen an Wegen mit Grenzsteinen, sowie auf den Verzicht die Wegeknickpunkte zu vermarken, traf Schumacher auf breite Zustimmung.

In zwei Kartendarstellungen ist ersichtlich, in welchen Situationen, aufgrund unterschiedlicher Eigentumsstrukturen, eine Vermarkung vorgenommen werden musste.

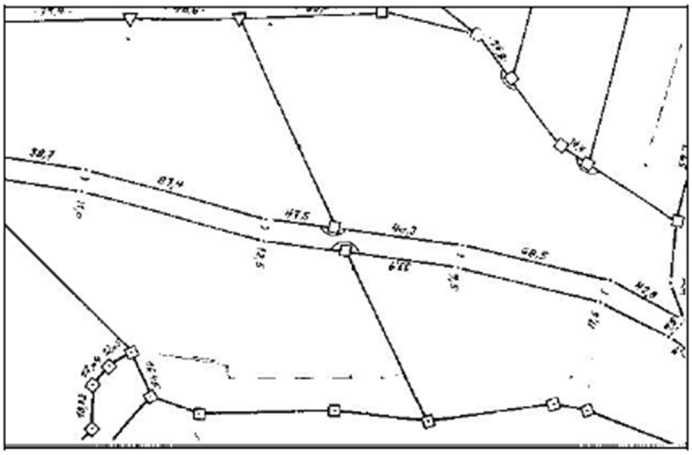


Abb. 3 - 7: Abgemarkte Grenzen und Blockgrenzen im Verfahren Schönecken [Schumacher (1998)]

In der zweiten Darstellung konnte fast komplett auf die Abmarkung verzichtet werden, da eine Vermarkung zwischen gemeinschaftlichen und öffentlichen Flächen entfallen kann.

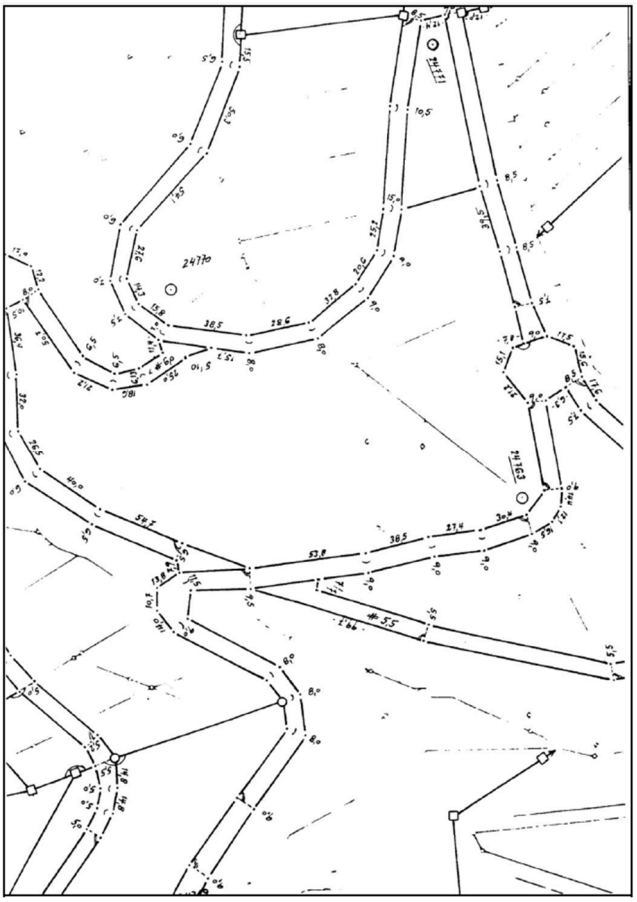


Abb. 3 - 8: Tatsächlich abgemarkte Grenzen des Verfahrens Schönecken [Schumacher (1998)]

4 Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“

Um die Leistungsfähigkeit der ausgewählten Messmethoden zu untersuchen und zu vergleichen, ist ein Waldflurbereinigungsverfahren nötig, dass sich im Verfahrensstand nach dem Ausbau der Wirtschaftswege befindet. Im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ im Dienstbezirk des DLR Westpfalz, fand in den Jahren 2017 und 2018 der Ausbau der Wirtschaftswege statt. Somit bietet dieses Verfahren ideale Voraussetzungen um den Praxisvergleich der ausgewählten Messmethoden anhand dieser neuen Wirtschaftswege durchzuführen.

4.1 Verfahrensübersicht

Die Ortsgemeinde Lug mit einer Fläche von 232 Hektar und 578 Einwohnern liegt im Wasgau, dem südlichsten Teil des Pfälzerwaldes, im Teilbereich des Dahner Felsenlandes. Es gehört der Verbandsgemeinde Hauenstein im Landkreis Südwestpfalz an.

Am 22.04.2004 hat der Ortsgemeinderat Lug beschlossen, einen Antrag auf Durchführung eines Bodenordnungsverfahrens beim DLR Westpfalz zu stellen. Die daraufhin erstellte projektbezogene Untersuchung (PU) ergab, dass ein Bodenordnungsverfahren in der Gemeinde Lug nötig ist. Laut Vermessungskonzept handelt es sich in dem bisher noch nicht bodenordnerisch behandelten Gebiet hauptsächlich um Urkataster aus dem Jahre 1850. Die Flurstücke im Offenland- und Privatwaldbereich haben eine durchschnittliche Größe von weniger als 0,1 Hektar und die Länge der Gewannen beträgt rund 150 m. Dies entspricht damit nicht den neuzeitlichen und künftigen Anforderungen aus betriebs- und arbeitswirtschaftlicher sowie produktionstechnischer Sicht der landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Unternehmen. Die Grundstücke sind zu klein und unwirtschaftlich geformt, der Besitz ist zersplittert und nicht oder unzureichend durch Wege erschlossen. Hierdurch werden eine ordnungsgemäße Bestandsführung im Wald, insbesondere die gezielte Wiederaufforstung, Durchforstung, Naturverjüngung und die Aufbereitung vorhandener Windwurfflächen wesentlich erschwert oder verhindert.

Deshalb wurden die am vereinfachten Flurbereinigungsverfahren Lug voraussichtlich beteiligten Grundstückseigentümer und Erbbauberechtigten vom DLR Westpfalz am 16.02.2005 in einer Aufklärungsversammlung eingehend über das geplante Flurbereinigungsverfahren einschließlich der Kostenregelung informiert und angehört.

Mit Flurbereinigungsbeschluss des DLR Westpfalz vom 15.08.2005 konnte das Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ als vereinfachtes Flurbereinigungsverfahren nach § 86 Abs. 1 Nr. 1 Flurbereinigungsgesetz (FlurbG) eingeleitet werden. Das Verfahrensgebiet umfasst die gesamte Gemarkung Lug mit Ausnahme der bebauten Ortslage und hat eine Gesamtfläche von 195,2 Hektar. Davon sind 157,5 Hektar Forstwirtschaftsfläche, 28 Hektar Landwirtschaftsfläche und die restlichen 9,7 Hektar sonstige Flächen.

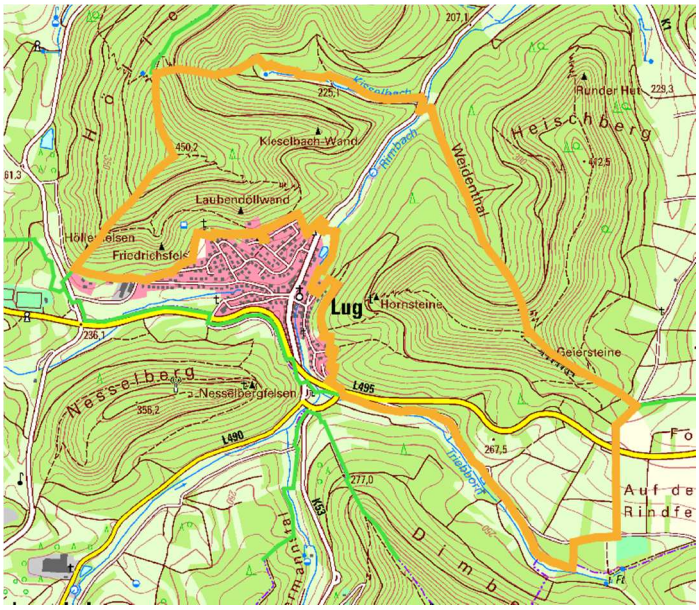


Abb. 4 - 1: Waldflurbereinigungsverfahren "Lug"

Das Verfahrensgebiet besteht aus 1921 Flurstücken die sich nach der Legitimation auf 339 Ordnungsnummern verteilen. Die Abbildung 4-2 zeigt die Kleinparzellierung und die ungünstigen Flurstücksformen die im Verfahrensgebiet vorherrschen.

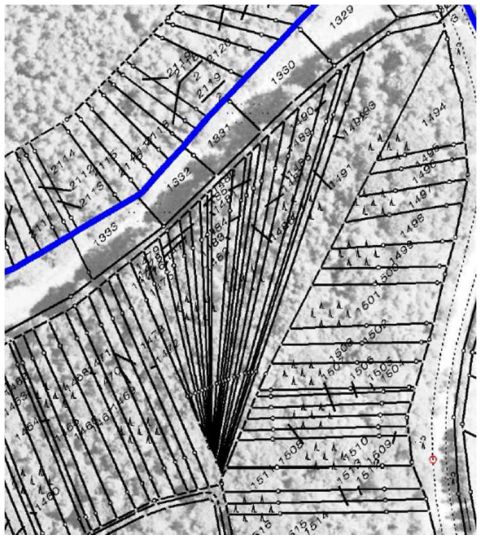


Abb. 4 - 2: Ungünstige Flurstücksformen

Die Wahl zum Vorstand der Teilnehmergemeinschaft fand am 10.05.2006 in Lug statt. Dabei wurden drei hauptamtliche Mitglieder und drei Stellvertreter in den Vorstand gewählt.

Im Zeitraum vom 16.04.2008 bis 26.11.2009 wurde an insgesamt 14 Tagen ein Feldvergleich durchgeführt. Dabei kam es zur Erfassung der Nutzungsarten und Gefälle der Straßen, Wege und Gewässer, sowie der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Bei den forstwirtschaftlichen Flächen wurden die Hauptgefälle gemessen und die unterschiedlichen Bestände nach Baumarten, Bewuchsdichte und Bestandsalter abgegrenzt.

Bei der Wertermittlung der Flurstücke im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ wurden zwei separate Wertermittlungen durchgeführt. Eine für die nach § 28 FlurbG vorgesehene Wertermittlung der landwirtschaftlich genutzten Flurstücke sowie eine Wertermittlung des Holzbestandes der forstwirtschaftlich genutzten Flurstücke.

Der Einleitungstermin für die landwirtschaftlich genutzten Flurstücke fand am 23.11.2011 statt. Dabei wurde der amtliche landwirtschaftliche Sachverständige des Finanzamtes Kaiserslautern vorgestellt. Der Ablauf der Wertermittlung wurde erläutert und anhand von Bohrstockproben die vorgefundenen Böden vor Ort in verschiedene Bodenklassen eingeordnet. Anschließend wurden den einzelnen Klassen Wertverhältniszahlen (Werteinheiten) zugeordnet und in einem vorläufigen Wertermittlungsrahmen festgehalten. Der Kapitalisierungsfaktor wurde mit 2,0 festgesetzt. Des Weiteren gibt es Abstufungen für die Hängigkeit. Bis 18 % keine Abstufung, 19 % bis 24 % eine Klasse, 25 % bis 29 % zwei Klassen und ab 30 % eine Einstufung der Fläche in Hutung. Auch bei Waldschatten soll in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung und den örtlichen Gegebenheiten (Höhe und Lage des Waldes) um eine bis zwei Klassen abbonitiert werden. Die Durchführungsdauer des Wertermittlungsverfahrens betrug fünf Tage.

Beim Abschlusstermin der Wertermittlung am 08.02.2012 wurde die Wertermittlungskarte offengelegt und die darin eingetragenen Bodenwertermittlungen eingehend besprochen sowie als richtig anerkannt. Der im Einleitungstermin aufgestellte Wertermittlungsrahmen erwies sich bei der Wertermittlung als ausreichend und wurde endgültig festgestellt. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus den Wertermittlungsrahmen des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“.

DLR Westpfalz
Flurbereinigungsbehörde
PNR: 21066
Verfahren: Lug
(bei Rückfragen bitte angeben)

Wertermittlungsrahmen

Blatt: 1
Stand: 04.06.2013

Nutzungsart	Abk.	NKZ	Werteinheiten je Ar					
			1	2	3	4	6	7
Ackerland	A	1	30	26	21	15		
Gartenland	G	2	50					
Grünland	GR	3	30	26	21	15		
Acker-Grünland	AGR	4	30	26	21	15		
Hutung	HU	5					7	
Waldfläche	H	6						10
Gehölz	GH	8					5	
Gebäude- und Freifläche - Einzelh.	GFW	9	500					
Gebäude- und Freifläche zu Abwass.	GFES	10	500					
Gebäude- und Freifläche zur Erhol.	GFE	11	50					
Gebäude- und Freifläche - land- u.	GFLF	12	50					
Landesstraße	L	16	0					

Abb. 4 – 3: Wertermittlungsrahmen

Beim Einleitungstermin für die forstwirtschaftlich genutzten Flurstücke am 26.01.2012 wurde ebenfalls die Sachverständige für die Durchführung der Bestandswertermittlung vorgestellt. Aufgrund dessen, dass das Forstamt Hinterweidenthal keine Kapazitäten frei hatte, um die Waldwertermittlung selbst durchzuführen, wurde die Sachverständige für Bestandswertermittlung vom Forsteinrichtungswerk bei der Zentralstelle der Forstverwaltung in Koblenz zu Rate gezogen. Der Wert des Waldbodens wurde aufgrund ähnlicher Standorttypen im gesamten Verfahrensgebiet zu einer Waldbodenklasse zusammengefasst und mit einem Betrag von 0,20 Euro/m² festgelegt. Um den Wert des Aufwuchses zu ermitteln, wurden Blöcke gebildet, die unterschiedliche Kriterien aufweisen: Bestandstyp, Alter des Aufwuchses, Bestandsdichte, Pflegezustand und Rücke- bzw. Werbekosten. Durch Eingabe dieser Kriterien in ein Programm der Forstverwaltung, wird für einen bestimmten Block ein Betrag für den Bestandswert je Hektar ermittelt. Daraus kann im Anschluss für jedes Waldflurstück der Wert des Aufwuchses berechnet werden. Für die Waldwertermittlung wurden ebenfalls fünf Tage benötigt.

Der Abschlusstermin der Waldwertermittlung fand am 06.09.2012 statt. Dabei wurden die Bestandswertermittlungskarte und die Liste der Ergebnisse der Waldbewertung offen gelegt, besprochen und als richtig anerkannt. Es wurden 213 Blöcke bewertet und festgehalten, dass die durchgeführte Waldbewertung bei der Ermittlung der wesentlichen Bestandteile der Flurstücke zugrunde gelegt werden kann.

Nach dem Anhörungs- und Erläuterungstermin der Ergebnisse der Wertermittlung am 03.07.2013 wurden alle Einwendungen ausgeräumt und es konnte am 04.04.2014 der Verwaltungsakt für die Feststellung der Ergebnisse der Wertermittlung erlassen werden.

Bei der Erstellung des Wegenetzentwurfes für den Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischem Begleitplan (Plan nach § 41 FlurbG), wurde in einem Abstimmungsgespräch mit Forstamtsleiter, Revierförster und Privatwaldbetreuer erörtert, welche forstwirtschaftlichen Aspekte bei der Erstellung eines Wegenetzentwurfes im Vordergrund stehen. Der dabei entstandene Vorentwurf des Wegenetzes wurde im weiteren Verlauf durch das DLR und dem Vorstand der Teilnehmergemeinschaft verfeinert und abschließend vervollständigt. Am 19.02.2016 fand die fachaufsichtliche Prüfung des Wege- und Gewässerplanes statt und die endgültige Plangenehmigung konnte am 18.04.2016 erreicht werden. Des Weiteren wurde der Finanzierungsplan mit einem Zuwendungsprozentsatz in Höhe von 80 % mit 289 731 Euro zuwendungsfähigen Ausführungskosten, am 10.05.2016 genehmigt.

Um die Ziele des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“ zur Erreichen und Sicherzustellen war es notwendig, die gemeinschaftlichen Anlagen (Wege, Gewässer und landespflegerische Anlagen) teilweise vorweg auszubauen bzw. herzustellen. Mit dem Ausbau sollte insbesondere erreicht werden, dass unmittelbar nach der Besitzeinweisung die neuen Flurstücke ohne Inanspruchnahme der Flurstücke anderer Beteiligter erreicht werden und die Wirkungen der Anlagen sich frühzeitig entfalten kann. Des Weiteren war die Vermarkung und Vermessung der endgültigen Grenzen der gemeinschaftlichen und der öffentlichen Anlagen bei den vorliegenden topografischen Verhältnissen wirtschaftlich nur möglich, wenn die Anlagen vorweg ausgebaut werden. Aufgrund dessen wurden den Eigentümern und Nutzungsberechtigten der Flurstücke, die von dem vorzeitigen Ausbau betroffen sind, am 15.09.2016 den Besitz und Nutzen an den betroffenen Flächen entzogen. Die Abbildung 4-4 zeigt den Wege- und Gewässerplan des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“.

Abb. 4 - 4: Wege- und Gewässerplan

Mit dem Vorwegausbau der Wege wurde am 19.12.2016 begonnen. Zuerst startete der Waldbauverein Oberes Rinnbachtal FBG e. V. mit den Rodungsarbeiten der Wegetrassen. Die anschließenden Bauarbeiten für die Wege mit den Nummern 104, 105, 106, 107, 113, 115, 117, 119, 120 und 121 verteilten sich über das ganze Jahr 2017 bis zum Februar 2018. Ausgebaut wurden die Wege durch die Firmen Weidler und Seibel. Das Forstamt Hinterweidenthal übernahm dabei für die Teilnehmergemeinschaft Lug die Durchführung der Ausschreibung sowie die örtliche Maßnahmenbetreuung. Im November 2018 wurden durch die Firma Bernhart entstandene Erosionsschäden beseitigt sowie im Mai 2019 die letzten kleineren Abschlussarbeiten durchgeführt. In Schotter Ausgebaut wurden der Weg mit der Nummer 104+105+106 auf 2,5 km Länge sowie der Weg 115+117 auf 0,9 km Länge. Als Erdwege wurden der Weg mit der Nummer 107 auf 0,7 km, Nummer 113 auf 0,8 km und die Nummer 119+120+121 auf 0,5 km Länge ausgebaut. Insgesamt entstanden 3,4 km neue Schotterwege und 2 km neue Erdwege. Im Zeitraum von Februar 2014 bis April 2018 wurden durch die Bearbeiter des DLR an ca. 300 Tagen bedingte Grenzen und Wege terrestrisch aufgemessen. Diese erhebliche Anzahl an Außendiensttagen ist aufgrund der hohen Walddichte in dem Flurbereinigungsverfahren zurückzuführen.

4.2 Auswahl der Wirtschaftswege

Bei der Auswahl der Wirtschaftswege wurde versucht alle Probleme, die bei einer Auswertung von Luftbildern oder bei der GNSS-Messung auftreten können, zu berücksichtigen. Wichtige Faktoren sind: Die topographische Lage des Weges, dies beinhaltet auch die Anzahl der Richtungswechsel eines Weges. Die Befestigungsart, die Breite der Trassenfreistellung und die Art des Bewuchses.

Im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ wurden fünf neue Wege ausgebaut. Zwei Schotterwege und drei Erdwege. Die Wahl fiel auf die zwei Schotterwege und einen Erdweg. Ein alter schon vorhandener Erdweg wurde zu Vergleichszwecken ebenfalls mit ausgewählt.

Der neue Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106 ist der längste Weg mit 2,5 km. Topographisch verläuft der Weg von Südosten nach Nordosten mit vielen Richtungswechseln um die Erhebung Hornstein. Dies führt in Kombination zu unterschiedlichen Lichtverhältnissen auf den Luftbildern. Die Befestigung in Schotter liefert einen besseren Kontrast zur Umgebung, was die Auswertung vereinfacht. Bei der Bereite der Trassenfreistellung und der Art des Bewuchses sind bei diesem Weg viele unterschiedliche Bereiche vorhanden. Der nordwestliche Bereich des Weges ist im Verhältnis zu den anderen Bereichen etwas schmaler freigestellt und es befinden sich in diesem Abschnitt auch überwiegend Nadelbäume. Ganz im Norden des Weges befindet sich ein kompletter Bereich ohne Bäume in dem eine Auswertung oder Vermessung ohne die Störeinflüsse vorgenommen werden kann. Im restlichen Verlauf des Weges ist zum größten Teil Mischwald vorhanden. Beim Weg 104, 105 und 106 sind unterschiedlichste Lichtverhältnisse, Trassenbreiten und Bewuchsarten vorzufinden. Die Abbildung 4-5 zeigt den Verlauf des Schotterweges mit der Nummer 104, 105 und 106 in hellbraun mit roten Dreiecken aus dem Wege- und Gewässerplan des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“.

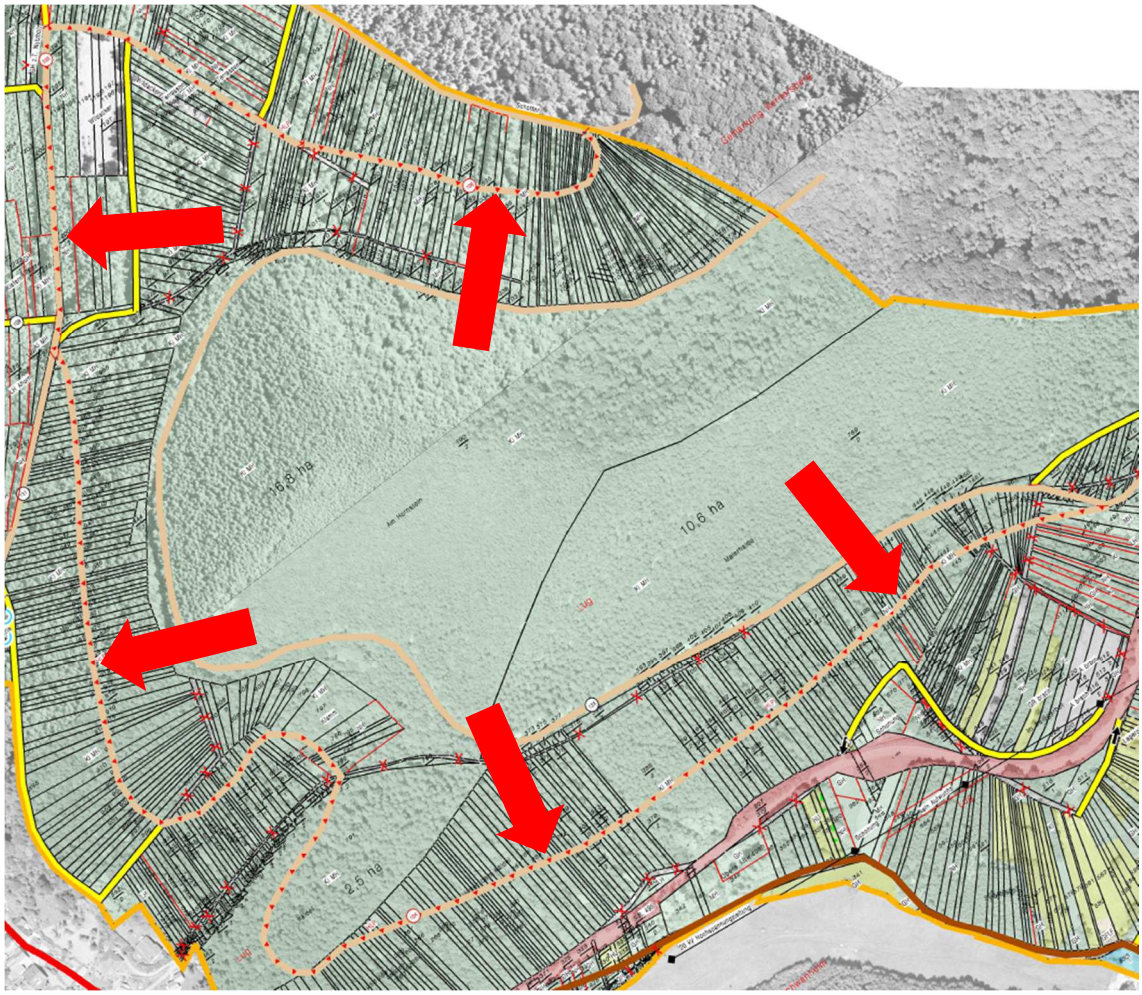


Abb. 4 - 5: Weg 104, 105, 106

Der neue Erdweg mit der Nummer 113 verläuft im Tal von Lug aus kommend, fast parallel zur K 91 in Richtung Wernersberg. Durch die Tallage sind schwierige Lichtverhältnisse vorzufinden sowie stärkere Abschattungen der Satellitensignale. Ebenfalls erschwert die Befestigung als Erdweg das Auswerten im Luftbild dar der Kontrast gegenüber dem übrigen Gelände fehlt. Die Trassenfreistellung wurde beim Ausbau der Erdwege nicht so breit vorgenommen als bei den Schotterwegen. Jedoch sind verschiedene Breiten an diesem Weg vorzufinden. In direkter Ortsnähe wurde in großem Maße gerodet, im weiteren Verlauf des Weges wiederum eher schmal. Im schmalen Trassenbereich befindet sich ein Nadelwald der eine Bodensichtbarkeit noch weiter erschwert. In Richtung der Gemarkungsgrenze sind auch Bereiche vorzufinden die nur auf einer Seite Bewuchs aufzeigen. Der Erdweg mit der Nummer 113 bietet schwierigste Bedingungen für eine Auswertung anhand von Luftbildern oder mit einem GNSS-Gerät. Auf

der Abbildung 4-6 ist der Erdweg in gelbrot aus dem Wege- und Gewässerplan ersichtlich.

Abb. 4 - 6: Weg 113

Der neue Schotterweg mit der Nummer 115 und 117 verläuft westlich der K 91 in Richtung Wernersberg an der östlichen Seite der Kieselbach-Wand. Durch die Lage an der Bergseite kann bei östlichem bis südlichem Sonnenstand eine gute Belichtung des Weges erfolgen, was wiederum am Abend eine schlechte Belichtung durch den Berg zufolge hat. Der Weg hat im Verlauf der Trasse drei Richtungswechsel die für unterschiedliche Schattenwürfe sorgen. Bei der Befestigung handelt es sich um einen Schotterweg was die Sichtbarkeit des Weges im Luftbild deutlich verbessert. In puncto Trassenfreistellung wurde bei diesem Weg, durch den Ausbau in Schotter, breiter gerodet, was ebenfalls zu einer Verbesserung der Sichtbarkeit führt. Der Mischwald in diesem Gebiet bietet bei der Frühjahrsbefliegung Vorteile im Luftbild durch das fehlende Laub, jedoch bei Vermessungen im Sommer mehr Abschattung. Der neue Schotterweg mit der Nummer 115 und 117 hat durch die Befestigung in Schotter, die bereite Trassenfreistellung und den Mischwald gute Voraussetzungen für eine Auswertung im Luftbild. Bei der GNSS-Messung wird die Lage an der Bergseite und die damit einhergehende Abschattung auf einer Seite eher Schwierigkeiten bereiten. Die Abbildung 4-7 zeigt den Verlauf des Schotterweges mit der Nummer 115 und 117 in hellbraun mit roten Dreiecken aus dem Wege- und Gewässerplan des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“.

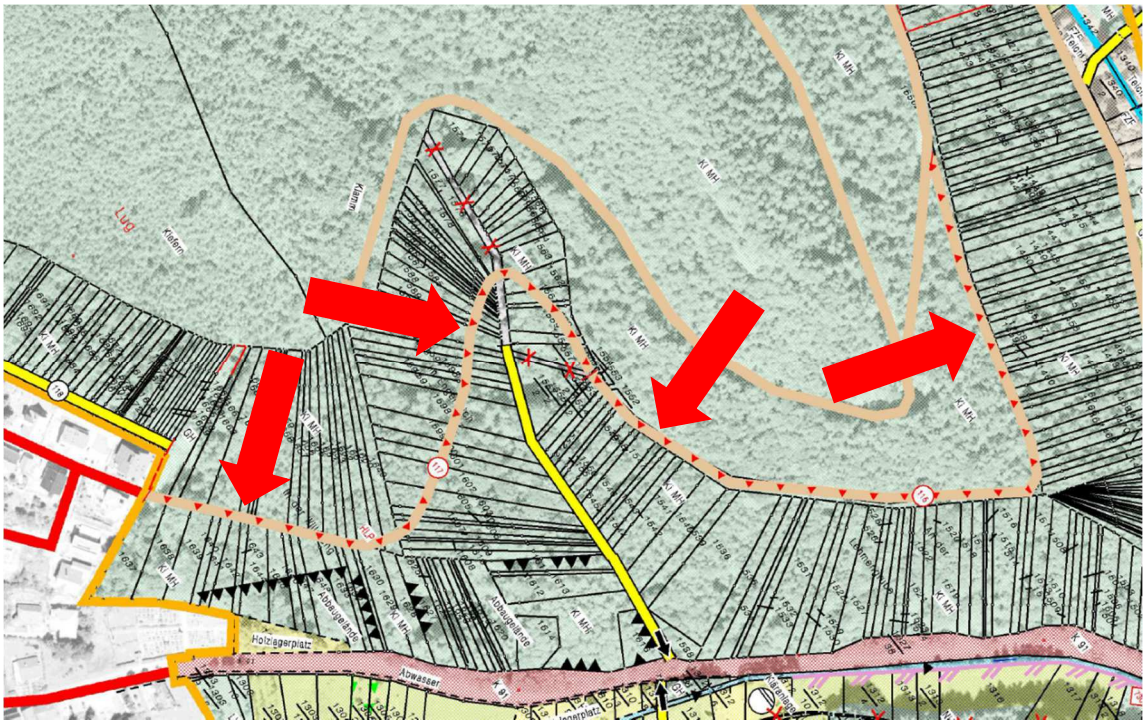


Abb. 4 - 7: Weg 115, 117

Der schon vorhandene alte Erdweg mit der Nummer 124 wurde ausgewählt um einen Vergleich mit einem nicht neu ausgebauten Weg zu erhalten. Wie der Weg Nummer 104, 105 und 106 verläuft der alte Erdweg 124 um die Erhebung Hornstein in etwa parallel zu dem neuen Schotterweg 104, 105 und 106. Aufgrund der ähnlichen topographischen Lage und Richtungswechseln bietet dieser Weg gleiche Bereiche mit verschiedenen Lichtverhältnissen. Durch die Befestigung als Erdweg besteht kein Kontrast zum umliegenden Gelände, was eine Sichtbarkeit des Weges erschwert. In Teilen des Weges ist der Überhang des Bewuchses etwas geringer, jedoch sind dies auch Bereiche mit Nadelbäumen. Die Abschnitte mit Mischwald sind im Frühjahr zwar Laub frei dafür ist in diesen Bereichen meist der Überhang der Äste durch die Laubbäume stärker. Der alte Erdweg mit der Nummer 124 soll aufgrund der topographisch ähnlichen Lage und Verlaufs als Vergleichsweg ohne Trassenfreistellung, zu dem neuen Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106, dienen. In der Abbildung 4-8 ist der Verlauf des Weges mit der Nummer 124 in hellbraun aus dem Wege- und Gewässerplan des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“ ersichtlich.

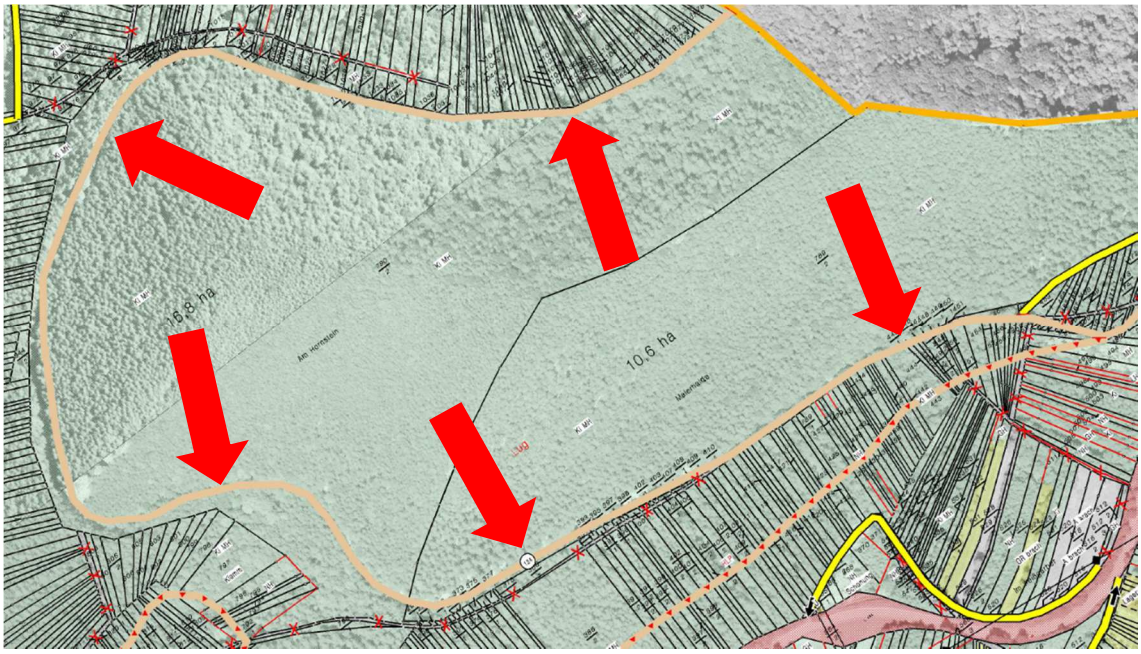


Abb. 4 - 8: Weg 124

Es bestehen zwei Möglichkeiten, wie ein Wirtschaftsweg vor Ort abgegrenzt werden kann: Die Wegegrenze kann an die Böschung des jeweiligen Weges gelegt werden oder an die direkte Wegekante. Aus Sicht des Eigentümers ist die Abgrenzung an der Böschungskannte sinnvoller, denn ein Eigentümer hat meist für eine Böschung keine Verwendung.

Bei den hier ausgewählten Messmethoden ist zum einen eine gute Sichtbarkeit der Wegegrenze wichtig und zum anderen sollte die Lage der Grenze so weit wie möglich von den Bäumen entfernt sein. Eine Wegekante lässt sich oft besser im 3D-Stereomodell identifizieren und wird vom Überhang der Bäume weniger bedeckt als eine Böschungskante. Um das bestmögliche Ergebnis bei der Auswertung mit den ausgewählten Messmethoden zu erzielen, wurde sich, aufgrund der zuvor erwähnten Aspekte, für die Wegekante als Grenze entschieden. Um dabei Konsens mit den Eigentümern zu erzielen, kann die Böschungsfläche unentgeltlich bei der Landabfindung den Eigentümern zugeteilt werden.

5 Vergleich der Messmethoden

Bei der Auswahl der geeigneten Messmethoden fiel die Wahl auf die Photogrammetrie. Nachdem die Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz die Photogrammetrie in einem Flurbereinigungsverfahren in Bergen an der Nahe 1954 erfolgreich getestet hat, wurde sie als Standardvermessungsmethode eingeführt [Durben (2014)].

Das zweite Vermessungsverfahren ist die Punktbestimmung mit einem globalen Navigationssatellitensystem (GNSS). Durch die Anschaffung von drei zusätzlichen GNSS-Geräten in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz und die Realisierung einer dezentralen Pool-Lösung über die Passpunktbestimmer [MWVLW (2019)], ist ein immer häufigerer Einsatz der GNSS-Geräte in den Flurbereinigungsverfahren möglich.

Aufgrund der Befliegung und Vermessung nach dem Ausbau der Wirtschaftswege im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“, ist zu untersuchen und zu vergleichen, inwieweit sich die damit einhergehende Freistellung der Wegetrasse positiv auf die Leistungsfähigkeit der ausgewählten Messmethoden auswirkt.

5.1 Photogrammetrie

Wie schon zuvor erwähnt, wird die Photogrammetrie in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz seit über 60 Jahren erfolgreich eingesetzt. Die Luftbildmessung hat einen hohen Mehrfachnutzen. So dient sie nach [Theisen (2016)] zur Herstellung digitaler Orthophotos als Planungs- und Digitalisierungsgrundlage oder zur Koordinierung von Neupunkten mit einer Genauigkeit von 2 cm. Des Weiteren dient sie zur 3D-Koordinatenmessung im Stereomodell, zur Erzeugung digitaler Geländemodelle für die Planung und bautechnische Berechnung, sowie zur topographischen Auswertung für Planungszwecke und für die Bereitstellung von Geobasisdaten. Durch die Photogrammetrie können 3D-Visualisierungen erzeugt werden. Der wichtigste Aspekt ist jedoch die Schaffung der Voraussetzungen für das Verfahren „Punktfestlegung durch Digitalisierung“.

Auch bei der Bestimmung von Neupunkten im Wald kann die Photogrammetrie eingesetzt werden. Um Punktausfälle zu minimieren wurde bisher die Kreuzbefliegung eingesetzt. Bei der Befliegung des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“ kam nicht die Kreuzbefliegung zum Einsatz, sondern es wurde mit größeren Längs- und Querüberde-

ckungen der Bilder gearbeitet. Lag die Längsüberdeckung bisher bei 60% und die Querüberdeckung bei 40%, so wurde hier eine Längsüberdeckung von 80% und eine Querüberdeckung von 60% gewählt.

5.1.1 Funktionsweise

Bei der Photogrammetrie handelt es sich um gezielte Bildaufnahmen in einer Bildreihe mit vorgegebener Bildüberdeckung. Im Falle der Flurbereinigung handelt es sich um Bilder aus der Luft, die bei einer Befliegung über das Flurbereinigungsverfahren entstanden sind. Die dadurch entstehenden regelmäßigen, streifenweise angeordneten Bildverbände, in denen sich die benachbarten Bilder deutlichen überlappen, machen eine 3D-Auswertung möglich.

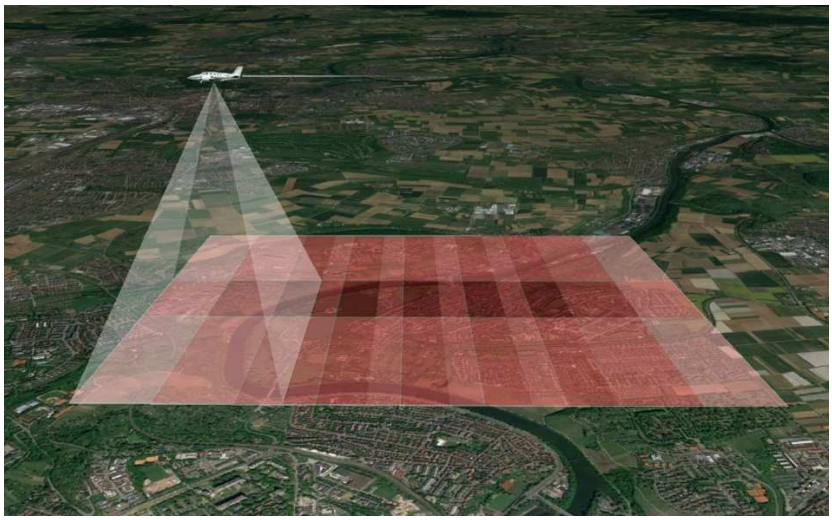


Abb. 5 - 1: Bildflug [Geoplana (2019a)]

Jedes Jahr im Frühjahr, vor Laubausbruch, werden die vom Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) ausgewählten Flurbereinigungsverfahren überflogen. Die Technische Zentralstelle (TZ) der DLR beauftragt dafür spezielle Flugfirmen [Theisen (2019a)]. Das Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ wurde von der Firma Geoplana aus Marbach-Rielingshausen überflogen.

Bevor jedoch solch eine Befliegung stattfinden kann, müssen im Vorfeld einige Arbeiten durchgeführt werden. Zuerst muss mit der Flugplanung begonnen werden, hier wird in der Vorkalkulation festgelegt, in welcher Richtung und mit wie vielen Flugstreifen das geplante Gebiet überflogen wird. Die nachfolgende Abbildung zeigt die drei Flugstreifen sowie die Bildmitten, die bei der Befliegung mit einer Längsüberdeckung von 80%

und einer Querüberdeckung von 60% des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“ benötigt wurden.

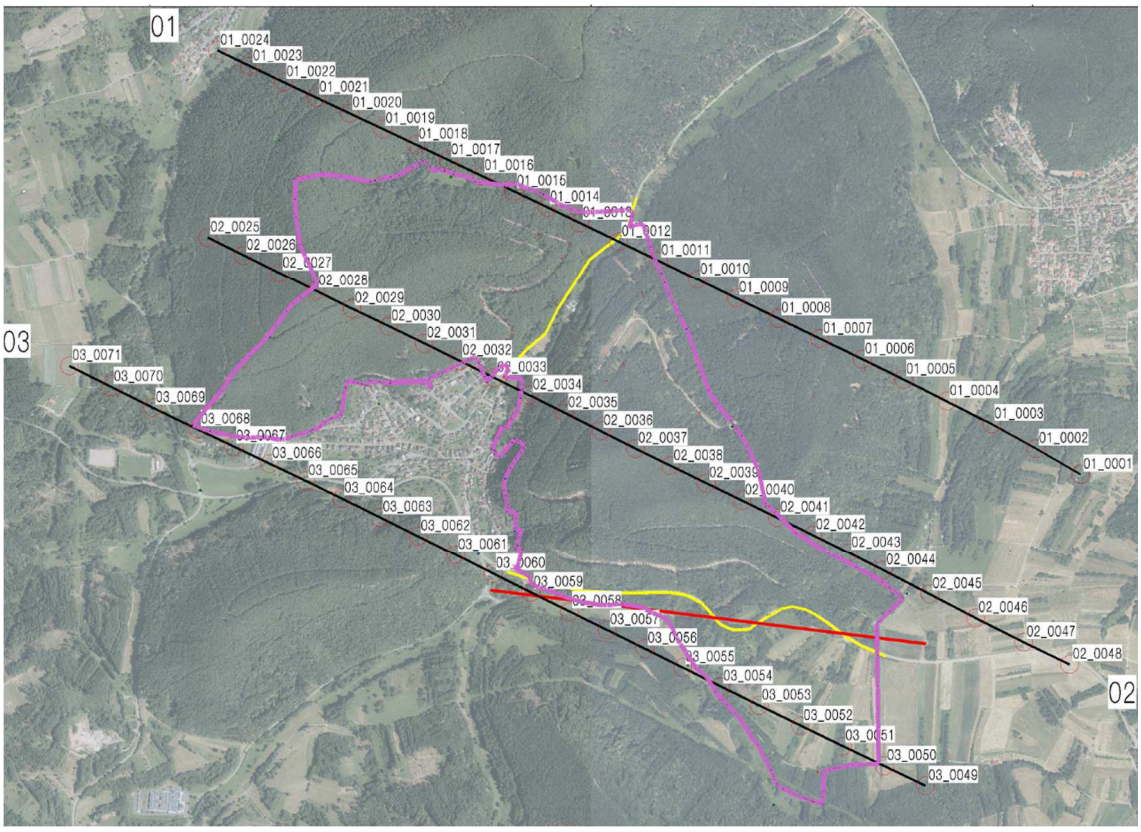
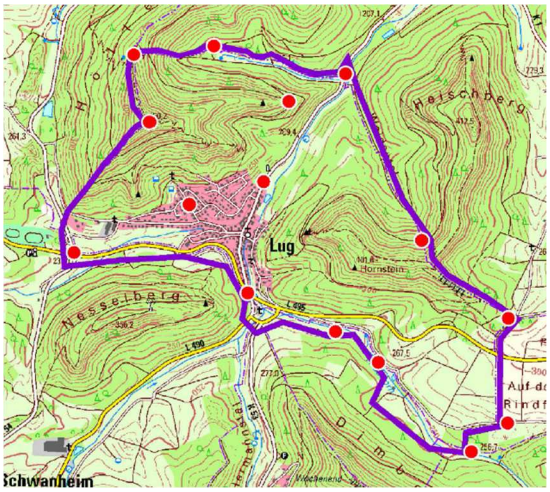


Abb. 5 - 2: Flugstreifen und Bildmitten [Theisen (2019b)]

Des Weiteren wird die Anzahl der Passpunkte berechnet und in einer Passpunktkarte dargestellt. Wie in der Abbildung 5-3 zu erkennen, wurden 15 Passpunkte für das Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ verwendet. Die Passpunkte sind nötig, um bei der späteren Einpassung der Bilder den Anschluss an den vermessungstechnischen Raumbezug zu gewährleisten. Vor Ort legen der Passpunktbestimmer und der Sachgebietsleiter Planung und Vermessung (SGL) des Verfahrens den geeigneten Platz der Passpunkte anhand der Passpunktkarte fest. Die Punkte müssen das Neuvermessungsgebiet umgeben, um eine Extrapolation auszuschießen. Danach können die Passpunkte mit einem GNSS-Gerät im System ETRS89_UTM32 bestimmt werden. Anschließend erfolgt die Signalisierung der Passpunkte. Die Signale in Weiß mit einer Größe von 15 x 15 cm werden auf den Punkten befestigt. Um die Passpunkte bei der späteren Auswertung besser zu identifizieren, wird jeder Punkt mit Streifen in abwechselnden Mustern kenntlich gemacht. Ebenfalls werden um jeden Passpunkt rechtwinklig zwei Kontrollpunkte festgelegt und die Maße zum Passpunkt gemessen. Anhand der gemessenen Kontrollmaße

und der berechneten Maße bei der späteren Auswertung, kann eine Kontrolle der Passpunkte erfolgen. Um die Form der Signalisierungshilfen und die gemessenen Maße festzuhalten, wird eine Signalisierungskarte mit dem Graphischen Informations- und Bearbeitungssystem (GRIBS) hergestellt. Mit der Programmfunktion „Signalisierungskarte“ im neuen Bestand können mit dem Feldrechner direkt vor Ort an jedem Punkt die erforderlichen Angaben eingetragen werden. Abschließend wird die Karte zur Auswertung an die TZ übergeben.



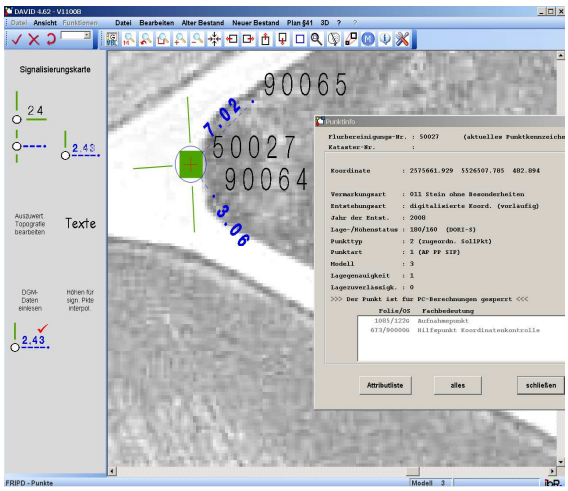


Abb. 5 - 3: Passpunktkarte

Abb. 5 - 4: Signalisierungskarte in GRIBS [Theisen (2019a)]

Abb. 5 - 5: Signalisierung in der Örtlichkeit

Der Befliegungstermin ist meist Ende Februar oder Anfang März, im Jahr 2019 bekamen die Flugfirmen die Freigabe ab 02. März zu befliegen. Bei geeigneter Wetterlage,

wolkenlosem Himmel oder geschlossener Hochbewölkung, informiert die Flugfirma die TZ über den erfolgreichen Bildflug. Das Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ wurde am 21. März 2019 bei wolkenlosem Himmel mit der Kamera Leica DMC III überflogen. Diese Kamera besitzt eine Pixelgröße von 3,900 x 3,900 µm, eine Bildgröße von 100,3392 x 56,9088 mm und eine Brennweite von 92 mm. Jedes Bild hat in etwa eine Datengröße von 1 GB. Wie auf der Abbildung 5-2 anhand der Bildmitten zu erkennen, wurden 71 Bilder geschossen. Um die geforderte Bodenauflösung von 7 cm zu erreichen, musste mit einer Flughöhe von 1480 m geflogen werden [Geoplana (2019b)].

Die erzeugten Bilder werden nach der Befliegung von der Flugfirma an die TZ übergeben. Die Bearbeiter der TZ überprüfen die Bilder auf Qualität und Vollständigkeit. Ist dies gegeben, gibt die TZ die Freigabe zum Abräumen der Signale an den SGL des Verfahrens.

Anschließend startet die Bildverarbeitung mit der Software Inphoto Version 8 von Trimble. Diese ist eine modular aufgebaute Software, mit verschiedenen Komponenten für die Bildverarbeitung. Erster Schritt ist das Anlegen eines neuen Projektes mit allen wichtigen Daten. Benötigt werden die Kameradaten der Flugfirma. In einem Kalibrierungsprotokoll stehen alle Daten der Brennweite, Pixelgröße, Zeilen und Spalten, Bildgröße und des Hauptpunktes der Kamera. Des Weiteren die GNSS Daten, Ostwert, Nordwert und Höhe, sowie die Daten der inertialen Messeinheit (IMU), Omega (Roll), Phi (Pitch), Kappa (Yaw) zu den Projektionszentren in jedem Bild.

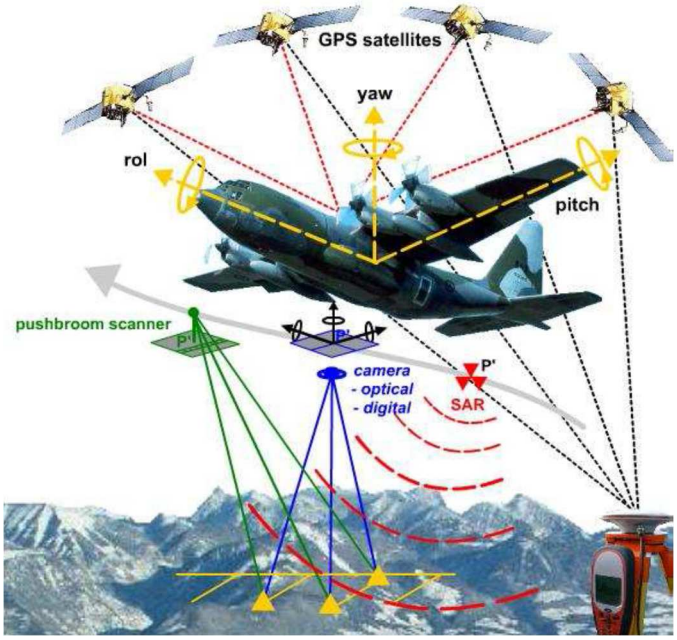
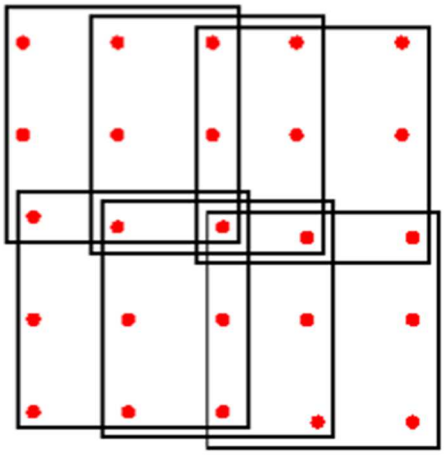


Abb. 5 - 6: Omega (Roll), Phi (Pitch), Kappa (Yaw) [Schlüter (2018)]

Aufgrund der schon erwähnten Datengröße von 1 GB pro Bild, wird jedes Bild durch eine Bildpyramide auf eine Größe von 250 – 300 MB komprimiert. Wenn die Eingabe der Koordinaten der gemessenen Passpunkte abgeschlossen ist, kann die Georeferenzierung der Luftbilder mittels Aerotriangulation, oder auch Bündelblockausgleichung genannt, erfolgen. Eine photogrammetrische Triangulation mit Luftbildern. Ziel der Aerotriangulation ist eine relative und absolute Orientierung der Luftbildaufnahmen. Die relative Orientierung erfolgt aufgrund von Verknüpfungspunkten, das sind Punkte, die in mehreren Bildern abgebildet sind. Die Verknüpfungspunkte werden von der Software automatisch erkannt und gemessen. Bei den Passpunkten, für die absolute Orientierung, findet eine semiautomatische Erfassung statt. Diese müssen evtl. noch per Hand angepasst werden [Theisen (2019a)].



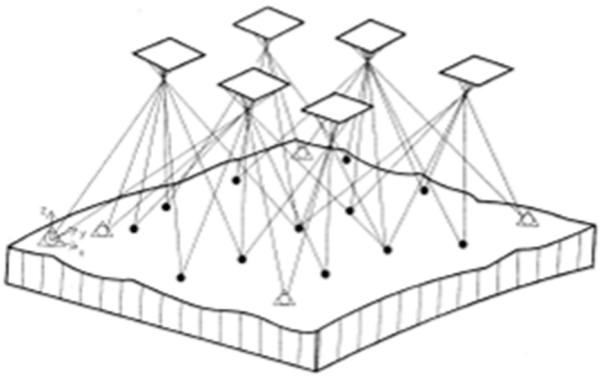


Abb. 5 - 7: Verknüpfungspunkte in mehreren Bildern [Theisen (2019a)]

Abb. 5 - 8: Aerotriangulation [Theisen (2019a)]

Bei der Aerotriangulation wurden 13 Passpunkte verwendet. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Restklaffen der Passpunkte, in der Einheit Meter.

Tab. 5 - 1: Restklaffen der Passpunkte

Punkt-Nr.:	Ostwert	Nordwert	Höhe	Bemerkung
10055	0,001	0,000	-0,002	-
10056	0,004	-0,008	0,002	-
10120	0,001	0,009	-0,004	-
10144	0,003	-0,010	-0,023	-

10168	0,001	-0,006	-0,001	-
10202	0,004	0,000	0,025	-
10247	0,013	0,012	0,022	-
10248	0,000	0,007	-	Höhe wegen Abweichung nicht verwendet
10249	-0,001	0,008	-0,023	-
10250	-0,015	-0,001	0,023	-
10251	-0,001	-0,011	-0,045	-
10252	-0,003	-0,002	0,007	-
10253	-0,006	0,003	0,019	-

Nach der erfolgreichen Bündelblockausgleichung kann die Koordinatenkontrolle anhand der signalisierten Kontrollpunkte erfolgen. Die Abbildung 5-9 zeigt die Differenzen zwischen den gemessenen und gerechneten Maßen.

PNR 21066 Koordinatenkontrolle (Signalisierungskarte) Seite 1

Erstellt am: 11.04.2019 (12:38)

Signalisierter Punkt	Kontrolle	Sger [m]	Sgem [m]	Diff [m]
10055	90015	2.46	2.47	-0.007
	90014	2.75	2.75	0.000
10056	90017	4.02	4.02	-0.004
	90016	3.65	3.68	-0.025
10120	90021	1.82	1.82	0.000
	90026	3.45	3.46	-0.010
10144	90019	3.01	3.03	-0.018
	90018	5.41	5.42	-0.006
10168	90001	8.50	8.51	-0.008
	90000	3.29	3.29	0.000
10202	90025	3.52	3.51	0.007
	90024	7.93	7.94	-0.007
10247	90027	2.69	2.69	0.003
	90005	5.17	5.19	-0.017
10248	90007	2.92	2.91	0.008
	90006	2.32	2.35	-0.028
10249	90003	2.78	2.79	-0.006
	90002	3.69	3.69	-0.001
10250	90009	2.93	2.93	0.005
	90008	2.99	2.98	0.014
10251	90011	3.28	3.28	0.005
	90010	2.61	2.61	0.003
10252	90023	2.41	2.42	-0.007
	90022	3.05	3.06	-0.008
10253	90013	2.75	2.74	0.008
	90012	1.98	1.99	-0.008

Abb. 5 - 9: Koordinatenkontrolle

Die Differenzen dürfen die zulässigen Abweichungen beim Anschluss an den vermessungstechnischen Raumbezug Tafel 1 der Richtlinien für das Verfahren bei Liegenschaftsvermessungen in Rheinland-Pfalz (RiLiV) [MDI (2012)] nicht überschreiten. Die größte zulässige Abweichung beim Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Strecken sind 0,05 m. Die Abbildung 5-9 zeigt, dass die maximale Abweichung bei -0,028 m lag und somit die Bündelblockausgleichung durchgreifend kontrolliert ist. Die hierdurch erhaltenen georeferenzierten Luftbilder, sind Grundlage aller weiteren Produkte, die hergestellt werden können.

Die Berechnung von Orthophotos und das Erzeugen eines 3D-Stereomodells sind jeweils eines der wichtigsten Produkte und Grundvoraussetzung für die von [Durben (1996)] erstmals beschriebene Methode Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig). Dabei werden die Koordinaten der geplanten neuen Grenzpunkte, in der Regel ohne vorherige Abmarkung im Gelände, durch Digitalisierung im Orthophoto, im 3D-Stereomodell oder in Plänen Dritter, in ihrer jeweiligen Solllage bestimmt. Die geplanten Grenzpunkte der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen sowie die Grenzpunkte der bedingten Grenzen, können digitalisiert werden. Die Methode PuDig ist die Standardmethode in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz zur Bestimmung der Sollkoordinaten.

Im weiteren Verlauf wird genauer auf die Digitalisierung im Orthophoto und im 3D-Stereomodell eingegangen. Auf der folgenden Abbildung wird die Prozesskette der Luftbildphotogrammetrie dargestellt.

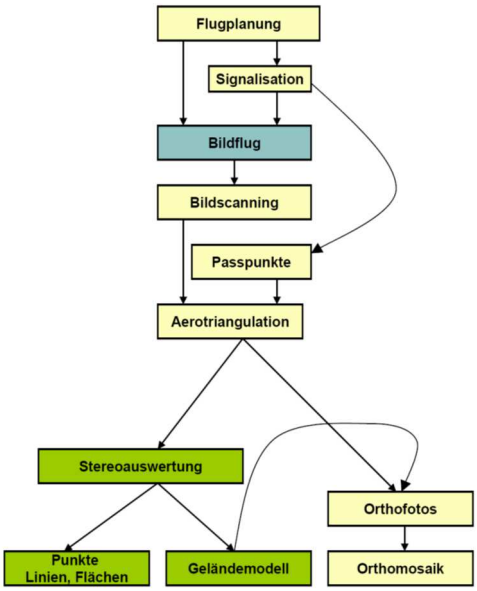


Abb. 5 - 10: Prozesskette der Luftbildphotogrammetrie [Schlüter (2018)]

5.1.2 Digitalisierung im Orthophoto

Anhand der georeferenzierten Luftbilder können Orthophotos berechnet werden. Probleme des Luftbildes sind die Zentralprojektion und die Unebenheit des Geländes. Dadurch enthält das Luftbild Verzerrungen und es kann nicht wie eine Karte zum Messen von Strecken oder Flächen verwendet werden. Um diese Verzerrungen zu beseitigen, wird ein digitales Geländemodell (DGM) benötigt. Ein DGM beschreibt die räumliche Form der Erdoberfläche. Die Geländestruktur wird durch eine Vielzahl von regelmäßig und unregelmäßig verteilten Punkten dargestellt. Diese Punkte besitzen Lage- und Höheninformationen, dadurch entsteht ein dreidimensionales Gitternetz. Abgeleitet werden die DGM Daten aus den Bodenpunkten der Laserscanbefliegung des Landesamtes für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz (LVermGeo). Das LVermGeo bietet die DGM Daten in verschiedenen Gitterweiten an. Bei der Berechnung der Orthophotos des Waldflurbereinigungsverfahrens „Lug“ wurde das DGM mit einer Gitterweite von 5 Metern verwendet. Da die Lagegenauigkeit des Orthophotos stark von der Qualität des DGM's abhängig ist, wird das DGM durch eigene Messungen im Stereomodell verbessert. Wichtig sind genaue Bruchkanten, deshalb werden an Böschungen oder markanten Geländeformen die DGM Daten erweitert. Stehen die georeferenzierten Luftbilder und das DGM zur Verfügung, wird aus jedem Luftbild ein Orthophoto berechnet. In diesen Orthophotos können dann Strecken richtig bestimmt oder Sollpunkte digitalisiert werden.

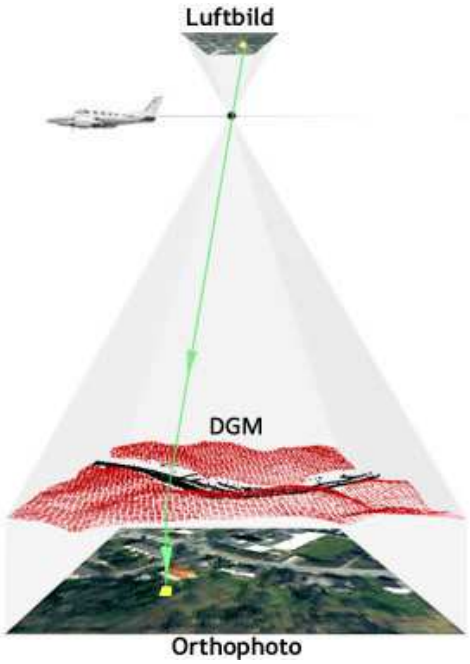


Abb. 5 - 11: Orthophoto Herstellung [Geoplana (2019c)]

Es besteht die Möglichkeit, die 71 Orthophotos danach noch zu größeren Orthophotomosaiken zusammenzufassen. Nur die zentralen Bereiche der Bilder werden genutzt um die Bildkippungen so gering wie möglich zu halten, um dann an günstig gelegenen Nahtlinien die Bilder zu einem Orthophoto zusammenzufügen. Hier spielt nun wieder die große Längsüberdeckung von 80% und die Querüberdeckung von 60% eine Rolle. Durch die hohe Überdeckung wird versucht, so viele zentrale Bereiche wie möglich zu erhalten, was gerade im Wald zu einer besseren Einsicht führt. Aufgrund der großen Datenmenge eines gesamten Orthophotomosaik, entstanden für das Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ vier Orthophotomosaike.

Um in den Orthophotos Sollpunkte bestimmen zu können, wird bei den DLR die Fachschale „GRaphische Informations- und BearbeitungsSystem“ (GRIBS) verwendet. GRIBS ist eine spezielle Anwenderschale für fachspezifische Anforderungen der Agrarverwaltung Rheinland-Pfalz. Sie ist auf dem benutzerorientierten Geoinformationssystem Digitalisierung, Aufbereitung und Verbesserung inhomogener Daten (DAVID) des Ingenieurbüros Riemer (ibR) aufgebaut. In der Hauptbearbeitungsstufe „Neuer Bestand“ unter der Funktion „PuDig“ besteht die Möglichkeit, Sollpunkte festzulegen. Zuvor müssen die erzeugten Orthophotomosaike als Rasterbilder in GRIBS eingelesen und präsentiert werden. Jetzt kann direkt am Bildschirm mit dem Fadenkreuz die Bestimmung der Sollpunkte vorgenommen werden. Durch das Festlegen eines Sollpunktes wird der Punkt mit einer Punktnummer, der Koordinate im System ETRS89_UTM32, sowie den dazugehörigen Punktattributen gespeichert.

Eine genaue Bestimmung von Sollpunkten ist jedoch nur im offenen Gelände möglich. Die Entzerrung des Luftbildes durch das DGM findet an der Oberfläche des Geländes statt. Sind nun natürliche oder künstliche Objekte, wie Bäume oder Gebäude, im Orthophoto sichtbar, entstehen aufgrund der Höhe der Objekte Lagefehler im Orthophoto. Diese verhindern eine genaue Festlegung der Punkte. Des Weiteren kommt es durch die Objekte zu sichttoten Räumen oder Schatten, die Informationen verdecken.

Da es sich hier explizit um die Bestimmung von Sollpunkten im Wald oder an Waldrändern handelt, kann die Digitalisierung im Orthophoto nicht die geeignete Messmethode sein.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Bereiche aus dem Orthophoto der ausgewählten, neu ausgebauten Wirtschaftswege im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“. Davon abgesehen, dass eine Bestimmung von Sollpunkten aufgrund der Lagefehler im

Waldbereich ausgeschlossen ist, sollen die Abbildungen veranschaulichen, dass der Schattenwurf und die Überhänge der Bäume an manchen Stellen keine oder nur schlechte Bodensicht bieten.

Der neue Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106 wechselt mehrmals seine Richtung. Durch den Schattenwurf von Südosten entstehen somit Bereiche, in denen durch die Sonne eine gute Bodensicht möglich ist, jedoch auch welche, in denen der Schattenwurf so stark ist, dass keine Bodensicht erreicht werden kann. Des Weiteren gibt es Stellen, die eine Bodensicht aufgrund der Überhänge der Bäume verhindern. Zur besseren Orientierung sind in den Abbildungen die Wegegrenzen in Rot dargestellt.

Abb. 5 - 12: Weg 104, 105, 106 Keine Bodensicht

Abb. 5 - 13: Weg 104, 105, 106 Gute Bodensicht

Abb. 5 - 14: Weg 104, 105, 106 Vereinzelte Schatten

Abb. 5 - 15: Weg 104, 105, 106 Überhang der Bäume

Der neue Erdweg mit der Nummer 113 verläuft von Nordost nach Südwest. Aufgrund des Schattenwurfes von Südosten und der tiefen Lage im Tal liegt er auf gesamter Strecke im Schatten. Da es sich um einen Erdweg handelt, wurde die Wegetrasse in nicht so großem Maße freigeräumt als bei den Schotterwegen. Zusätzlich lässt sich der Erdweg auf den Orthophotos nicht so gut erkennen als die Schotterwege. Die Abbildungen sollen auch hier nochmals verdeutlichen, dass der Schattenwurf und die Überhänge bei der Sichtbarkeit die größten Probleme bereiten. Bei diesem Weg gab es sogar Bereiche, die im Stereomodell nicht messbar waren, deshalb sind nicht auf allen Abbildungen die Wegegrenzen sichtbar.

Abb. 5 - 16: Weg 113 Bereich mit guter Trassenfreistellung

Abb. 5 - 17: Weg 113 Keine Sicht durch Schattenwurf

Abb. 5 - 18: Weg 113 Überhang der Bäume

Der neue Schotterweg mit der Nummer 115 und 117 verläuft zum größten Teil von Nordost nach Südwest, mit zwei Richtungsänderungen. Topographisch liegt er jedoch auf der Südostseite eines Berges, weshalb der Schattenwurf wenige Probleme bereitet. Auch der Überhang der Bäume ist bei diesem Weg eher gering. Somit ergibt sich eine gute Bodensicht. Diese Erkenntnis kann auch bei der späteren Auswertung im Stereomodell bestätigt werden. Nachfolgend zwei Abbildungen des Weges.

Abb. 5 - 19: Weg 115, 117 Gute Bodensicht

Abb. 5 - 20: Weg 115, 117 Etwas Schattenwurf

Anhand dieser drei Wegebeispiele wurde gezeigt, welche Auswirkungen die Lage, die Zeit der Befliegung, die Richtung des Weges, die Freistellung der Wegetrasse und die Befestigungsart des Weges auf die Sichtbarkeit haben. Da die Digitalisierung im Orthophoto schon aufgrund dieser Gegebenheiten, sowie der Lagefehler durch die Bäume, keine Bestimmung von Sollpunkten zulässt, ist eine andere Messmethode zu wählen.

Um besser mit den Sichtbarkeitseinflüssen zurecht zu kommen, vor allen Dingen aber die Fehlereinflüsse der Bäume bei der Bestimmung der Sollpunkte zu eliminieren, ist eine Digitalisierung im 3D-Stereomodell die geeignete Methode.

5.1.3 Digitalisierung im 3D-Stereomodell

Um im 3D-Stereomodell zu digitalisieren, benötigt es hardware- und softwaretechnische Voraussetzungen. Zwei stereoskopische Displays sowie die dazugehörige Software für eine 3D Betrachtung stehen bei der Technischen Zentralstelle in Bad Kreuznach zur Verfügung. Grundvoraussetzung hierfür sind wieder die georeferenzierten Luftbilder.

Die fehlende räumliche Information wird bei der Stereoauswertung durch das Heranziehen eines zweiten Bildes gewonnen. Es müssen Bildpaare eingesetzt werden, die sich zu etwa 60% überdecken. Der geometrische Zusammenhang der Bilder ist rekonstruiert und durch die Projektion wird ein formtreues, verkleinertes Modell des Geländes erzeugt. In diesem stereoskopisch zu betrachtenden Modell kann eine Messmarke über das Gelände bewegt werden.

Mit der Software, die schon bei der Georeferenzierung der Luftbilder zum Einsatz kam, Inphoto Version 8 von Trimble, wird die Auswertung mit der Programmfunktion DTMaster vorgenommen. Zusätzlich wird noch der stereoskopische Bildschirm benötigt. Die erste Abbildung zeigt den stereoskopischen Bildschirm SD2020 von Planar mit zwei 20 Zoll Displays und einer UXGA-Auflösung von 1600x1200 Pixeln. Die zweite Abbildung veranschaulicht die Funktionsweise des Bildschirms. Das linke Brillenglas blockiert das Licht des oberen Monitors und es gelangt nur das Bild des unteren Bildschirms ins linke Auge. Das rechte Brillenglas blockiert somit das Licht des unteren Monitors, damit nur das Bild des oberen Bildschirms im rechten Auge zu sehen ist. Aufgrund des räumlichen Sehvermögens des Menschen entsteht ein dreidimensionaler Eindruck des Geländes.

Abb. 5 - 21: Planar SD2020 [Theisen (2019a)]

Abb. 5 - 22: Funktionsweise Planar SD2020 [Theisen (2019a)]

Die Auswertung der ausgewählten Wege fand am 27. und 28. Mai 2019 bei der Technischen Zentralstelle in Bad Kreuznach statt. Um mit der Auswertung zu beginnen gibt es die Funktion „beste Stereobetrachtung“. Dabei präsentiert die Software die beiden nächstgelegenen Luftbilder an der zu messenden Stelle. Aufgrund der großen Überdeckung ist es jedoch sinnvoller nicht die direkt nebeneinander liegenden Luftbilder zu verwenden, sondern zwei oder drei weiter auseinander liegende Luftbilder. Dadurch entsteht eine bessere räumliche Betrachtung. Es besteht die Möglichkeit, einzelne Punkte oder Linienzüge im Stereomodell zu erfassen. Bei der Bestimmung der Wegegrenzen ist es von Vorteil, die Funktion des Linienzuges zu verwenden. Dabei erzeugt die Software eine Linie, die gut an die Wegegrenze angelegt werden kann. Das Arbeiten mit der Messmarke im Raum erfordert etwas Einarbeitungszeit. Mit der Maus muss an die Stelle im Gelände herangefahren und auf der Oberfläche aufgesetzt werden. Nur wenn sich die Messmarke an der Oberfläche des Geländes befindet, wird die richtige Koordinate mit Lage und Höhe für den Punkt bestimmt. So wurden innerhalb der zwei Tage an allen messbaren Stellen der ausgewählten Wege die Sollpunkte der Wegegrenzen bestimmt.

5.1.4 Ergebnis

Um photogrammetrische Aufnahmen, ob im Orthophoto oder im 3D-Stereomodell, auswerten zu können, ist eine Bodensicht Grundvoraussetzung. Ohne Sicht auf das Gelände kann keine Bestimmung von Sollpunkten vorgenommen werden. Das Fehlen der Bodensicht kann zwei Ursachen haben.

Eine der Ursachen kann der Schattenwurf sein und die damit einhergehende Verdunklung des Weges. Dies kann bis zur völligen Unsichtbarkeit führen. An welchen Stellen und wie stark der Schattenwurf vorkommt, kann von mehreren Faktoren abhängen: Wie ist die topographische Lage des Weges, verläuft der Weg im Tal oder auf einem Berg, in welcher Richtung liegt der Weg bzw. wie oft und stark ändert der Weg die Richtung. Ein weiterer Faktor ist der Zeitpunkt der Aufnahme, an welcher Stelle die Sonne zu dieser Uhrzeit stand. Schattenwurf tritt immer dort auf, wo die Sonne ist. Verändert sich die Aufnahmezeit, werden aufgrund der verschiedenen Richtungen und der topographischen Gegebenheiten der Wege andere Stellen im Schatten liegen bzw. sichtbar sein. Die Technische Zentralstelle lässt eine Befliegung auch bei Hochbewölkung zu. Hier wäre zu prüfen, inwieweit das den Schattenwurf minimiert oder ob dabei zu wenig

Licht auf die Erde trifft und somit keine Bodensicht, durch mangelnde Beleuchtung, möglich ist.

Eine weitere Ursache ist das Verdecken des Weges durch die Baumkronen. Aufgrund des neuen Ausbaus der Wege musste die Wegetrasse zuvor freigestellt werden. Die Sichtbarkeit ist jedoch stark vom Umfang der Freistellung abhängig. Ein weiterer Faktor ist die Befestigungsart des Weges. Die Abgrenzungen eines Schotterweges lassen sich auf dem Luftbild besser von der Umgebung unterscheiden als die eines Erdweges. Die Baumart am Wegesrand ist ebenfalls entscheidend. Da die Befliegung im Frühjahr stattfindet und somit die Laubbäume keine Blätter tragen, ist ein Laubwald besser einzusehen als ein Nadelwald.

Im weiteren Verlauf werden die ausgewählten Wege im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ auf die zuvor aufgeführten Aspekte hin untersucht.

Der neue Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106 war auf der gesamten Länge des Weges messbar. Aufgrund der topographischen Lage und der Richtungen des Weges, traten jedoch Probleme durch den Schattenwurf auf. Es gab sehr dunkle aber auch gut sichtbare Bereiche.

Abb. 5 - 23: Weg 104, 105, 106 Starker Schattenwurf

Abb. 5 - 24: Weg 104, 105, 106 Kein Schattenwurf

Das Problem des Schattens kann durch das Verändern der Helligkeit und des Kontrastes der Bilder gelöst werden, was aber bei zu dunklen Bildern an seine Grenzen stößt. Der Weg befindet sich in einem Mischwald, jedoch ist die Anzahl der Nadelbäume größer als die der Laubbäume. Trotz der großen Freistellung des Weges traten vereinzelte

Stellen auf an denen die Baumkronen die Sicht verdeckten. Aufgrund der hohen Überdeckung und der Vielzahl der Luftbilder, konnten Bildpaare gefunden werden, die eine Sicht ermöglichten.

Abb. 5 - 25: Weg 104, 105, 106 Freistellung des Weges

Abb. 5 - 26: Weg 104, 105, 106 Überhang der Bäume

Da es sich um einen Schotterweg handelt, war die Sichtbarkeit der Wegegrenzen gut. Jedoch ist das Festlegen der Sollpunkte immer Interpretationssache des Auswerters und erfordert vorherige Kenntnisse über das Gelände. Deshalb ist es von Vorteil, wenn der Sachgebietsleiter des Verfahrens die Auswertung selbst vornimmt. Sollen Böschungen als Grenzen festgelegt werden, kann durch das 3D-Stereomodell die Böschungen identifiziert, aber die genaue Festlegung der Ober- oder Unterkante, nur schwer vorgenommen werden. Um die Wegegrenzen und Böschungen im 3D-Stereomodell besser zu identifizieren, wurden bei der Signalisierung an zwei Stellen des Weges Signalisierungshilfen an Wegegrenzen und Böschungen gelegt. Diese halfen sehr bei der Festlegung der Wegegrenzen oder Böschungen. Der Aufwand, den gesamten Weg mit solchen Signalisierungshilfen auszulegen, ist zu groß. Eventuell sollte im Vorfeld an kritischen Stellen die Signalisierungshilfen ausgelegt werden oder es gibt eine effizientere Möglichkeit z.B. mit einer Markierungsmaschine Linien vor Ort zu signalisieren. Nachfolgend Abbildungen von den Signalen vor Ort am Tag der Signalisierung und den Signalen im späteren Orthophoto.

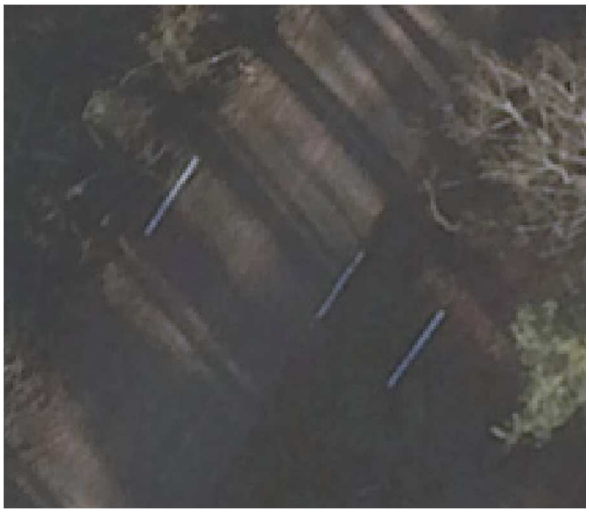


Abb. 5 - 27: Weg 104, 105, 106 Erste Signale vor Ort

Abb. 5 - 28: Weg 104, 105, 106 Erste Signale im Orthophoto

Abb. 5 - 29: Weg 104, 105, 106 Zweite Signale vor Ort

Abb. 5 - 30: Weg 104, 105, 106 Zweite Signale im Orthophoto

Der neue Erdweg mit der Nummer 113 konnte nicht auf gesamter Strecke gemessen werden. Bei diesem Weg kamen mehrere negative Einflüsse zusammen, was das Auswerten im mittleren Bereich nicht möglich machte. Topographisch liegt der Erdweg im Tal an der Südwestseite eines Berges. Aufgrund des Sonnenstands von Südost kam auf dem gesamten Weg kein Sonnenlicht an. Des Weiteren wurde die Wegetrasse in nicht so großem Umfang freigestellt als bei den Schotterwegen, was den sichtbaren Bereich einschränkte. Zweidrittel des Weges liegen im Bereich von Nadelbäumen, daher ist auch kein Vorteil durch die Frühjahrsbefliegung zu erlangen. Ein weiterer negativer Einfluss

ist, dass es sich um einen Erdweg handelt und somit der Kontrast zum umliegenden Gelände fehlt. In einem Bereich war sogar der Überhang der Bäume so stark, dass kein Weg zu sehen war.

Abb. 5 - 31: Weg 113 Nicht messbarer Bereich

Abb. 5 - 32: Weg 113 Messbarer Bereich

Abb. 5 - 33: Weg 113 Nicht messbar aufgrund von Überhang

Auch bei diesem Weg wurden an zwei Stellen Signale vor der Befliegung ausgelegt. Diese lagen im nicht messbaren Bereich des Weges. Durch die Signale konnten an diesen Stellen im 3D-Stereomodell die Wegegrenzen festgelegt werden. Dies bestätigt die

erlangte Erkenntnis des vorrangegangenen Weges, dass die Signalisierung der Wegegrenzen und Böschungen, einen erheblichen Vorteil verschaffen.

Abb. 5 - 34: Weg 113 Erste Signale vor Ort

Abb. 5 - 35: Weg 113 Erste Signale im Orthophoto

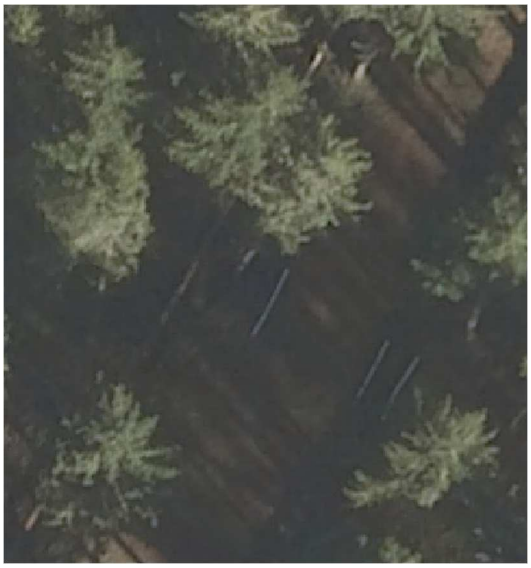


Abb. 5 - 36: Weg 113 Zweite Signale vor Ort

Abb. 5 - 37: Weg 113 Zweite Signale im Orthophoto

Der neue Schotterweg mit der Nummer 115 und 117 war komplett im 3D-Stereomodell zu erfassen. Dies ist aufgrund der topographisch guten Lage zu erklären. Der Weg liegt auf der Südostseite des Berges, was durch den Sonnenstand von Südost eine gute Belichtung des Weges zufolge hatte. Des Weiteren handelt es sich um einen Schotterweg, hierdurch ist die Freistellung der Wegetrasse größer und bietet eine bessere Einsicht.

Auch der Kontrast durch die Befestigung in Schotter trägt zur besseren Bestimmung bei. Noch positiv festzustellen ist, dass der Weg zwar in einem Mischwald liegt, jedoch im Bereich der Wegetrasse viele Stellen mit Laubbäumen aufweist. Auf der gesamten Wegetrasse sind einzelne Schatten der Bäume sichtbar und auch kleinere Überhänge von Bäumen. Das war wiederum durch die große Anzahl an vorhandenen Luftbildern zu lösen. Durch die Möglichkeit verschiedene Stereomodelle zu generieren, gab es immer ein Bildpaar, auf dem kein Überhang zu sehen oder so gering war, dass es bei der Auswertung nicht störte. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Ausschnitte aus dem Orthophoto des Weges.

Abb. 5 - 38: Weg 115, 117 Wenig Überhang

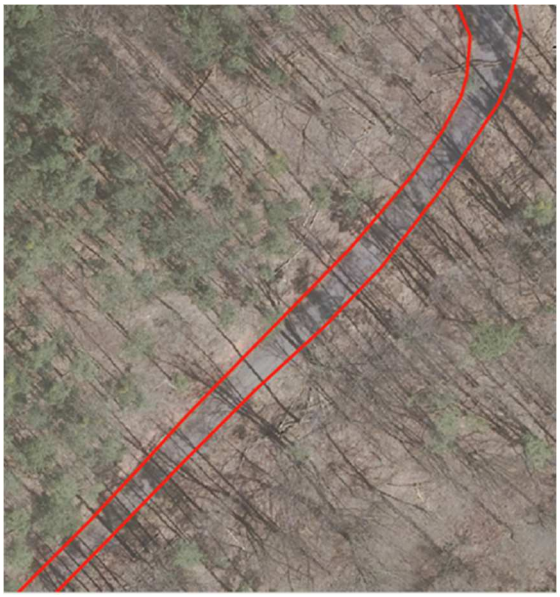


Abb. 5 - 39: Weg 115, 117 Größerer Überhang

Um einen Vergleich mit einem nicht neu ausgebauten Weg zu erhalten, wurde versucht den Erdweg mit der Nummer 124 im 3D-Stereomodell auszuwerten. Hier konnte direkt festgestellt werden, dass dies aufgrund der fehlenden Freistellung der Wegetrasse nicht möglich war. Ein Verlauf des Weges ist zwar erkennbar, aber der Überhang der Bäume ließ keine Bodensicht zu. Des Weiteren ist die Wegetrasse auf den Luftbildern so dunkel, dass auch die Anpassung der Helligkeit und des Kontrasts der Bilder keinen Erfolg brachte. Die Abbildung 5-40 zeigt die Wegetrasse des Weges Nummer 124.

Abb. 5 - 40: Weg 124 Keine Bodensicht

Auch hier wurden bei der Signalisierung zuvor Signalisierungshilfen an die Wegegrenzen und Böschungen gelegt. Jedoch war es selbst mit den Signalisierungshilfen schwer, etwas im 3D-Stereomodell zu erkennen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Signalisierungshilfen vor Ort und Ausschnitte aus zwei Luftbildern, in denen Teile der Signalisierungshilfen erkennbar sind.

Abb. 5 - 41: Weg 124 Signale vor Ort

Abb. 5 - 42: Weg 124 Luftbild Nr. 9

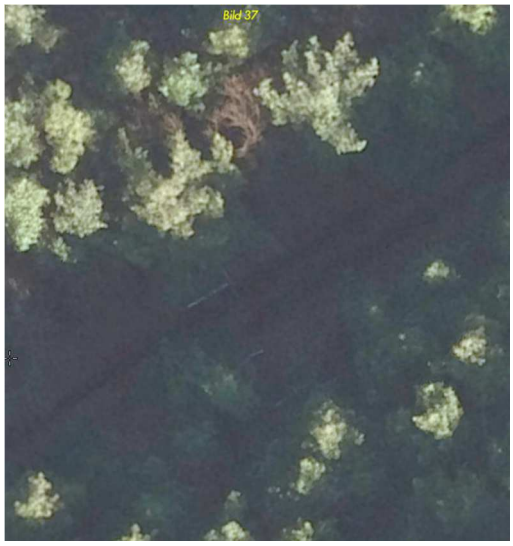


Abb. 5 - 43: Weg 124 Luftbild Nr. 37

Abschließend ist festzuhalten, dass die Auswertung von Waldwegen im 3D-Stereomodell, nach Ausbau der Wege enorme Vorteile bringt. Grundvoraussetzung ist eine ausreichende Trassenfreistellung und die damit einhergehende Einsicht auf den Waldweg. Begünstigt wird die Auswertung, wenn der Weg einen guten Kontrast zur Umgebung bietet. Beispiele waren hier die Schotterwege. Auf die topographische Lage des Weges und die Baumart kann keinen Einfluss genommen werden, jedoch auf den Zeitpunkt der Befliegung, was einen günstigeren oder ungünstigeren Schattenwurf verursachen kann. Bei der Befliegung von Waldflurbereinigungsverfahren ist zu prüfen, inwieweit eine Befliegung bei Hochbewölkung Vorteile bringt. Weiter wurde gezeigt, dass die Signalisierung der Wegegrenzen und Böschungen bei schwierigeren Bedingungen das Festlegen der Sollpunkte an der richtigen Stelle vereinfacht. Jedoch ist der Aufwand bei der Signalisierung hoch und es müssen neue Methoden entwickelt werden, die eine schnelle, dauerhafte und günstige Signalisierung der Wege ermöglichen.

5.2 Globales Navigationssatellitensystem (GNSS)

Die Verwendung von globalen Navigationssatellitensystemen (GNSS) war in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz noch bis März 2019 den drei Passpunktbestimmern der Technischen Zentralstelle in Bad Kreuznach vorbehalten. Die Bezeichnung leitet sich aus der Photogrammetrie ab, bei der globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) genutzt werden, um Passpunkte für die Luftbildauswertung zu bestimmen. Die Tätigkeit beschränkt sich jedoch nicht nur auf das Messen der Passpunkte, sondern die Passpunktbestimmer können auch zur Aufnahmepunkt (AP) Netzverdichtung, zum Abstecken oder dem Aufmessen von Grenzpunkten eingesetzt werden.

Bisher gab es drei GNSS-Geräte, somit fallen auf jeden Passpunktbestimmer zwei DLRs. Zusammengefasst werden dabei jeweils die Ämter DLR Eifel und DLR Mosel, DLR Westerwald-Osteifel und DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück sowie DLR Rheinpfalz und DLR Westpfalz.

Im Frühjahr 2019 wurden bei der Technischen Zentralstelle drei weitere GNSS-Geräte beschafft, die die Einsatzmöglichkeiten der vorhandenen drei Messausrüstungen der Passpunktbestimmer ergänzt [MWVLW (2019)]. Die Nutzung der drei zusätzlichen Messausrüstungen wurde über eine dezentrale Pool-Lösung realisiert. Die Passpunktbestimmer steuern demnach den Einsatz jeweils eines zusätzlichen Gerätes in ihrem Zuständigkeitsbereich.

Bedient werden die GNSS-Geräte der dezentralen Pool-Lösung von zuvor geschulten Mitarbeitern jedes DLR. Durch diese Erweiterung der Messgeräte ist ein flexiblerer und größerer Einsatz der GNSS-Messtechnik in Flurbereinigungsverfahren möglich.

Die Verwendung von GNSS-Geräten ist nicht überall möglich, da sich störende Objekte wie Bäume, Bewuchs oder Gebäude negativ auf die Messergebnisse auswirken. Deshalb wird untersucht, inwieweit die Trassenfreistellung beim Ausbau der Wirtschaftswege in Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ die Verwendung eines GNSS-Gerätes ermöglicht.

Zur Verfügung standen ein GNSS-Gerät der Hochschule Mainz und ein GNSS-Gerät aus dem Pool der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz.

5.2.1 Funktionsweise

Um eine geographische Position zu ermitteln oder im Gelände zu navigieren, werden Satellitensysteme genutzt. Weltweit sind verschiedene satellitengestützte Positionierungssysteme in Betrieb: Global Positioning System (GPS), Globalnaja Nawigazionnaja Sputnikowaja Sistema (GLONASS) zu Deutsch Globales Satellitennavigationssystem oder im Aufbau GALILEO der Europäischen Union. Alle Ortungs- und Navigationssysteme werden unter dem Begriff globales Navigationssatellitensystem (GNSS) zusammengefasst.

Das bekannteste globale Navigationssatellitensystem, GPS wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium (U. S. Department of Defense) entwickelt und kann von zivilen und militärischen Anwendern genutzt werden. Das zivile Signal Standard Positioning Service (SPS) ist von der Allgemeinheit frei nutzbar, während das militärische Signal Precise Positioning Service (PPS) nur von autorisierten Stellen genutzt werden darf. Der erste Satellit wurde am 22. Februar 1978 in die Umlaufbahn gebracht. Zur Zeit umkreisen 32 aktive und 3 Satelliten in Reserve die Erde auf 6 verschiedenen Bahnen in einer Höhe von 20180 Kilometern. Die Bahnen sind um 55° zum Äquator geneigt, womit von jedem Punkt der Erde, außer den Polregionen, eine Funkverbindung zu mindestens 4 Satelliten gewährleistet wird. Jeder Satellit umkreist die Erde in 11 Stunden und 58 Minuten und hat 4 Atomuhren an Bord [Zogg (2011)].

Das Globale Positionierungs System (GPS) besteht aus drei Segmenten:

- dem Weltraumsegment (alle funktionierenden Satelliten)
- dem Kontrollsegment (alle zur Überwachung des Systems dienenden Bodenstationen: Hauptquartier, Monitorstationen und Bodenkontrollstationen)
- dem Benutzersegment (alle zivilen und militärischen Anwender von GPS).

Im Weltraumsegment befinden sich alle 32, zurzeit funktionierenden Satelliten. Folgende Informationen (Navigationsnachricht) werden vom Satelliten ausgesendet:

- Satellitenzeit und Synchronisationssignale
- Präzise Bahndaten des Satelliten (Ephemeriden)
- Zeitkorrekturinformationen zur Bestimmung der exakten Satellitenzeit
- Ungenauere Bahndaten aller Satelliten (Almanach)
- Korrektursignale zur Berechnung der Laufzeit

- Daten über die Ionosphäre
- Informationen über den technischen Zustand (Status) der Satelliten.

Die Übertragungszeit sämtlicher Informationen beträgt 12,5 Minuten. Anhand der Navigationsnachricht kann der Empfänger die Aussendezeit von jedem Satellitensignal und die exakte Position des Satelliten zur Aussendezeit bestimmen.

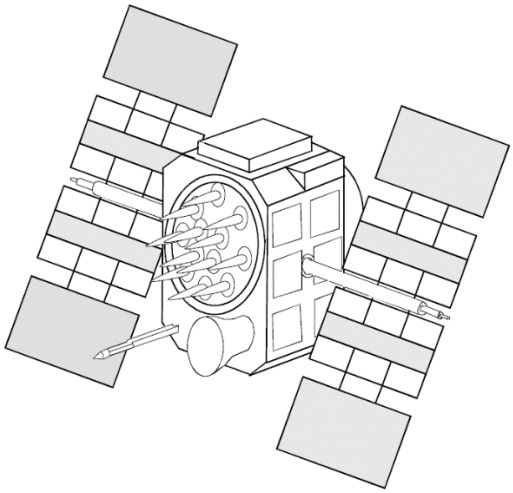


Abb. 5 - 44: GPS Satellit [Zogg (2011)]

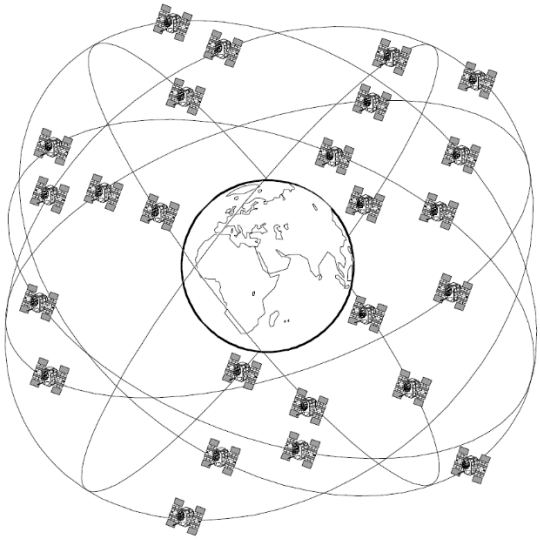


Abb. 5 - 45: 6 Bahnen um die Erde [Zogg (2011)]

Das Kontrollsegment (Operational Control System OCS) besteht aus einem Hauptquartier (Master Control Station), im US-Staat Colorado, aus fünf mit Atomuhren ausgerüsteten Monitorstationen, welche weltweit in der Nähe des Äquators verteilt sind und drei Bodenkontrollstationen (Ground Control Station), welche Informationen zu den Satelliten übermitteln.

Die wichtigsten Aufgaben des Kontrollsegments sind:

- Beobachtung der Satellitenbewegungen und Berechnung der Bahndaten (Ephemeriden)
- Überwachung der Satellitenuhren und Vorhersage ihres Verhaltens
- Zeitsynchronisation der Satelliten
- Übermitteln der genauen Bahndaten des im Funkkontakt stehenden Satelliten
- Übermittlung der ungenauen Bahndaten aller Satelliten (Almanach)

- Übermittlung weiterer Informationen, sowie technischer Zustand aller Satelliten.

Im Benutzersegment werden alle, die das Globale Positionierungssystem zum Navigieren oder Orten verwenden, zusammengefasst, gleich ob zivil oder militärisch. Um die Signale der Satelliten zu empfangen, wird ein GNSS Empfänger benötigt. Im Bereich der Vermessung besteht dieser aus einer Antenne und einem Kontroller. Die Antenne empfängt die Signale und gibt die Informationen der Satelliten an den Kontroller weiter, der die Daten verarbeitet und daraus die Position bestimmt.

Das Russische System GLONASS ähnelt dem Amerikanischen GPS. Gestartet wurde das Programm auch vom Verteidigungsministerium der früheren UdSSR, heute betreiben von Russland. Die ersten drei Testsatelliten wurden am 12. Oktober 1982 in ihre Umlaufbahn gebracht. 24 Satelliten umkreisen die Erde in einer Flughöhe von 19100 km auf 3 Bahnebenen mit 64,8° Neigung gegen den Äquator. Dies ist die höchste Neigung aller Navigationssysteme und ermöglicht eine Verbesserung des Empfangs in Polnähe. Die Umlaufzeit beträgt 11 Stunden 15 Minuten und 44 Sekunden. GLONASS besteht ebenfalls aus dem Weltraumsegment mit allen Satelliten, dem Kontrollsegment zur Überwachung des Systems und dem Benutzersegment [Zogg (2011)].

GALILEO ist ein ziviles Satellitennavigationssystem und wurde von der Europäischen Union in Auftrag gegeben. Im Jahre 2003 war die Definitionsphase abgeschlossen und im Dezember 2005 wurden die ersten Experimentalsatelliten in die Umlaufbahn gebracht. Am 21. Oktober 2011 und am 12. Oktober 2012 folgten weitere 4 Satelliten, mit denen eine erste Positionsbestimmung möglich war. Bis zum 15. Dezember 2016 waren 18 Satelliten im All und es konnte mit dem offenen Dienst gestartet werden. Seit dem 25. Juli 2018 sind 26 der 30 vorgesehenen Satelliten im Orbit. Die Flughöhe beträgt 23222 km auf 3 Bahnebenen mit 56° Neigung gegen den Äquator. Die Umlaufzeit beträgt 14 Stunden. Auch GALILEO besteht aus dem Weltraumsegment mit allen Satelliten, dem Kontrollsegment zur Überwachung des Systems und dem Benutzersegment.

Das Grundprinzip aller Satellitennavigationssysteme ist annähernd gleich. Die unterschiedlichen Angaben bei den Bahnephemeriden, die bei GPS durch die Kepler Elemente angegeben werden, jedoch bei GLONASS durch kartesische Koordinaten und die Geschwindigkeit des Satelliten parametrisiert sind. Des Weiteren die verschiedenen Referenzsysteme, bei GPS das WGS 84 Ellipsoid statt bei GLONASS das PZ 90 Ellipsoid verhindern nicht eine gemeinsame Nutzung. Die wesentlichen Parameter der Ellipsoide

stimmen überein und können mit einer einfachen Transformation eingepasst werden. Dies ermöglicht den Bau von Kombiempfängern, um mehrere Satellitennavigationssysteme gleichzeitig zu nutzen und die Anzahl der verfügbaren Satelliten zu steigern. Moderne GNSS-Empfänger im Bereich der Geodäsie empfangen die Signale von GPS, GLONASS und GALILEO Satelliten.

Damit ein GNSS-Gerät seine Position bestimmen kann, müssen die Zeitsignale von vier verschiedenen Satelliten empfangen werden, um die Signallaufzeiten zu berechnen. Die Berechnungen werden in einem kartesischen, dreidimensionalen Koordinatensystem mit geozentrischem Ursprung durchgeführt. Anhand der Signallaufzeiten der vier Satelliten zum GNSS-Gerät, werden die Entfernungen zu den vier Satelliten berechnet. Da die Standorte der vier Satelliten bekannt sind, können infolgedessen die Koordinaten des GNSS-Gerätes berechnet werden.

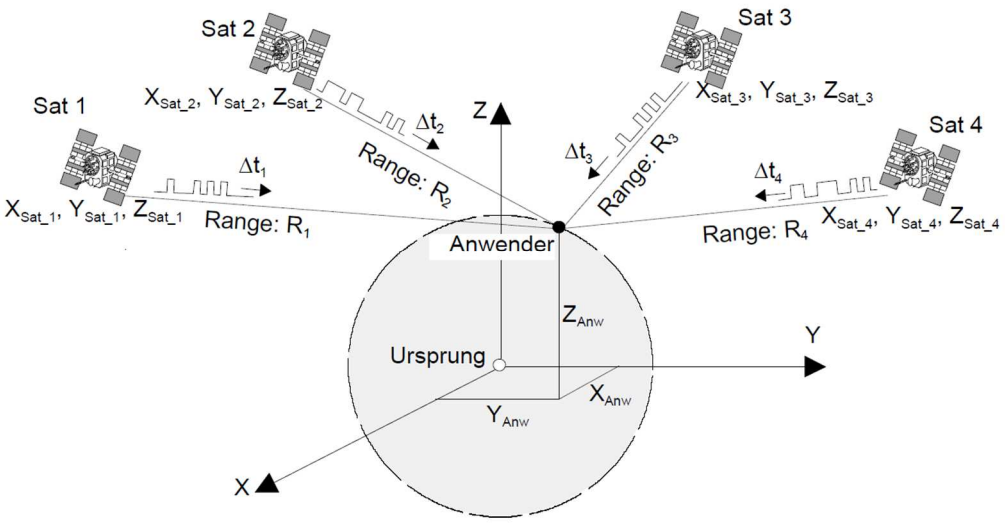


Abb. 5 - 46: Positionsbestimmung [Zogg (2011)]

Hierbei handelt es sich um die Codemessung. Die Ermittlung der Signallaufzeit wird durch den aufmodulierten Code auf der Trägerwelle bestimmt. Da die Uhren im Satelliten (Atomuhr) und im Empfänger (Quarzuhr) nicht exakt synchron laufen, sind die Strecken verfälscht und man spricht deshalb von Pseudoentfernungen. Gelöst wird dieses Problem, indem man zu den drei Standpunktunbekannten X, Y, Z noch eine vierte Unbekannte, den systematischen Uhrenfehler, hinzufügt. Aus diesem Grund erfolgt die dreidimensionale Standortbestimmung über vier Satelliten. Durch das Aufstellen von vier Gleichungen ist somit eine eindeutige Lösung der vier Unbekannten möglich. Die Genauigkeit bei der Codemessung liegt bei ca. 10 Metern.

Um GNSS für die Geodäsie zu nutzen muss eine Erhöhung der Genauigkeit stattfinden. Dies wird durch das verwenden der Trägerwellen der Satelliten ermöglicht. Heutige Satelliten senden drei Frequenzen, die ersten Satelliten sendeten nur zwei Frequenzen. Durch das aufwendige Verfahren der Trägerphasenmessung ist es möglich, die in der Geodäsie benötigten Genauigkeiten zu erreichen. Gemessen wird dabei die Phasendifferenz zwischen der vom Satellit ausgesandten Trägerphase (z.B. L1, L2, L5 bei GPS) und der Phase des im Empfänger erzeugten Referenzsignals. Bei Trägerphasenmessungen kennt man allerdings nur das Wellenlängenreststück, das heute sehr genau bestimmt werden kann. Die zur Entfernungsmessung notwendige Anzahl der ganzen Wellenlängen (Phasenmehrdeutigkeit, Ambiguities) ist allerdings nicht so einfach zu bestimmen, da sich der Sender (Satellit) in ständiger Bewegung befindet und der Anfangszählerstand unbekannt ist. Für die schnelle Bestimmung der Ambiguities wurden deshalb leistungsfähige Algorithmen entwickelt. Zum Beispiel die Kombination von Code und Trägerphasenmessung, wobei die Codes als zusätzliche Messwelle aufgefasst werden. Eine zweite Methode sind Mehrdeutigkeitssuchfunktionen, bei der mit Hilfe statistischer Kriterien nach einer Lösung gesucht wird. Bei Echtzeitmessungen hat das in der Praxis zur Folge, dass vor jedem Messbeginn der Empfänger zunächst die Phasenmehrdeutigkeiten von mindestens fünf Satelliten lösen muss. Die Güte dieser Initialisierung und damit auch die Genauigkeit, hängt unter anderem von der Signalqualität, der Anzahl der Satelliten, der Entfernung zur Referenzstation und von den genutzten Trägerphasen ab [LGL (2019)].

Bei voller Ausschöpfung des technischen Potentials von GNSS ist es mit einem Empfänger möglich, sich in Echtzeit mit etwa 3 m Genauigkeit zu positionieren. Um die Genauigkeit zu steigern, ist es notwendig, die dabei wirkenden Störeinflüsse wie Uhrfehler, Troposphäre, Ionosphäre, ungenaue Bahndaten zu eliminieren oder wenigstens zu minimieren. Aus diesem Grund wird GNSS im Vermessungswesen fast ausschließlich als relatives Messverfahren eingesetzt. Das heißt es werden Koordinatendifferenzen zwischen zwei "benachbarten" GNSS-Antennen/Empfängern bestimmt. Empfangen beide Antennen zur gleichen Zeit dieselben Satelliten, so können durch die Bildung von Doppeldifferenzen ein Großteil der Fehlereinflüsse eliminiert werden. Diese Methode nennt sich Differential GNSS (DGNSS). In Kombination mit dem Codemessungsverfahren können so Genauigkeiten im Dezimeter-, mit Trägerphasenmessungen im Zentimeterbereich erzielt werden.

Ursprünglich wurde das DGNSS-Prinzip in der Art angewandt, dass ein GNSS-Empfänger von dem Nutzer in der Mitte des Messgebiets fest aufgebaut und dort permanent betrieben wurde (Referenzstation). Mit dem zweiten Empfänger, dem Rover, wurde dann die eigentliche Vermessung durchgeführt. Am Ende eines Messtages wurde die Messanordnung abgebaut und ausgewertet. Um diesen Aufwand und die Kosten für eine zweite Ausrüstung zu ersparen, wurden von den Landesvermessungsämtern die permanenten Satellitenpositionierungsdienst (SAPOS)-Referenzstationen aufgebaut. Diese ermitteln für ihren Standort Korrekturwerte, die sie dann den Nutzern unter der Annahme mitteilen, dass die Messungen, die in der Nähe der Referenzstation durchgeführt werden, denselben systematischen und atmosphärischen Fehlern unterliegen.

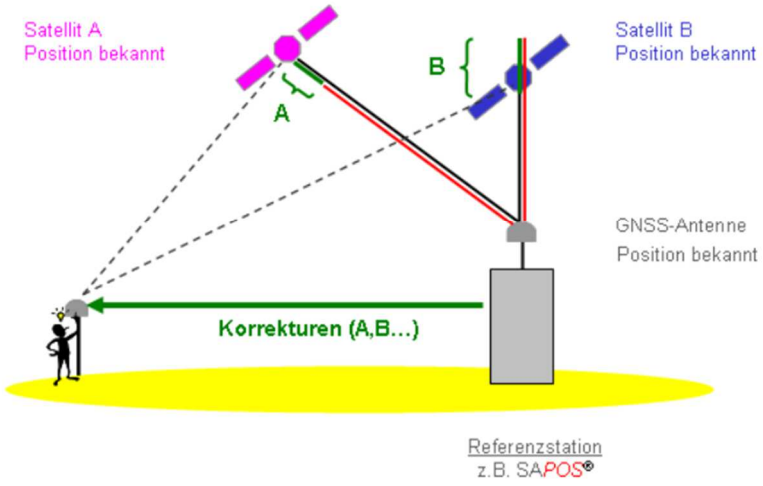


Abb. 5 - 47: Prinzip der Referenzstation [LGL (2019)]

Da die Korrekturwerte von einzelnen Referenzstationen mit zunehmender Entfernung an Gültigkeit verlieren, werden alle SAPOS-Referenzstationen in eine Vernetzung eingebunden. Dabei sind alle Stationen per Datenleitung mit einem Kontrollzentrum verbunden. Dort empfängt ein Computer ohne Unterbrechung im Sekundentakt die Rohdaten aller Referenzstationen und aktualisiert damit fortlaufend eine Datenbank mit Korrekturdaten. Dadurch erhält der Nutzer nicht mehr Korrekturdaten von nur einer Referenzstation, sondern kann Korrekturen verwenden, die z.B. aus den sechs nächsten Stationen berechnet werden. Vorteile dadurch sind eine höhere Genauigkeit unabhängig von der Entfernung zur Referenzstation, unabhängige Kontrollen der Daten, sowie sichere und schnellere Initialisierungen auch bei schwierigen Bedingungen [LGL (2019)].

SAPOS bietet drei unterschiedliche Vernetzungsrepräsentationen zur Korrekturdatenbestimmung: Virtuelle Referenzstation (VRS), Flächenkorrekturparameter (FKP) sowie Master-Auxiliary Concept (MAC). Alle drei Verfahren liefern das gleiche Ergebnis.

Bei der Berechnung einer virtuellen Referenzstation (VRS) wählt der Rover im Feld die Vernetzungszentrale an und sendet ihr seine ungefähre Position aus der Navigationslösung. Daraufhin werden die Korrekturen für die entfernungsabhängigen Einflüsse der nächsten Referenzstation an diese Näherungsposition „verschoben". Die Berechnung dieser Fehlereinflüsse erfolgt aus insgesamt sechs umliegenden Referenzstationen. Der Nutzer erhält danach für diese Näherungsposition generierte Rohdaten, also Messdaten von einer Referenzstation, die scheinbar ganz in seiner Nähe ist. Der Vorteil dabei ist, dass der Rover nur eine sehr kurze Baseline zur VRS berechnen muss, wodurch eine Minimierung aller entfernungsabhängigen Fehlerquellen erreicht wird. Danach löst der Rover seine Phasenmehrdeutigkeiten und berechnet seine korrigierte Position. Erfolgt keine neue Initialisierung, bleibt die Position der VRS während der Messung erhalten. Sobald sich der Rover weiter als 2 km entfernt, wird eine neue VRS berechnet [LGL (2019)].

Die zweite Möglichkeit besteht darin, Flächenkorrekturparameter zu ermitteln. Auch hier schickt der Rover seine Näherungsposition an die Vernetzungszentrale. Diese schickt dann korrigierte Rohdaten der nächstgelegenen (Master-) Referenzstation und Flächenkorrekturparameter (FKP) zurück. Die FKP werden von der Zentrale für jeden empfangenen Satelliten generiert, und definieren die Neigung einer Korrekturfläche in Nord-Süd und Ost-West Richtung. Außerdem werden die ionosphärischen von den troposphärischen Anteilen separiert. Somit stehen für jeden Satelliten vier FKP zur Verfügung. Mit diesen Parametern, die eine Korrekturfläche zwischen der Masterstation und weiteren umliegenden Referenzstationen definieren, kann der Rover die Fehlerdifferenzen seines Standpunktes zur Masterstation bestimmen. Danach berechnet er die Basislinie zur Masterstation, löst die Phasenmehrdeutigkeiten und berechnet seine korrigierte Position [LGL (2019)].

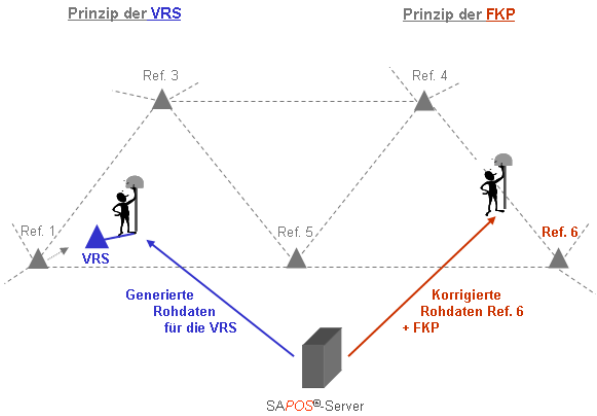


Abb. 5 - 48: Prinzip der VRS und FKP [LGL (2019)]

Beim Master-Auxiliary-Concept (MAC) ist die Ausgangssituation identisch. Wie bei den beiden anderen Verfahren, laufen in der Zentrale kontinuierlich die Rohdaten der einzelnen Referenzstationen zusammen, wo deren Phasenmehrdeutigkeiten festgesetzt werden. Wenn der Rover seine Näherungsposition an die SAPOS-Zentrale schickt, erhält er im Gegenzug die korrigierten Rohdaten aller Satelliten der nächstgelegenen Referenzstation (Master-Station). Von den umliegenden Referenzstationen (Auxiliary-Stations) bekommt er zusätzlich die Koordinatendifferenzen zwischen der Master- und den Auxilliary-Stations, sowie für alle gemeinsam mit der Master-Station empfangenen Satelliten, für die SAPOS die Ambiguities lösen konnte, ionosphärische und geometrische Korrekturdifferenzen. Die Software im Nutzerempfänger entscheidet dann selbständig, in welcher Form sie die Korrektionen zur Standortbestimmung interpoliert und welche Auxiliary-Stations sie dafür verwendet, um dann die Basislinie und die exakte Nutzerposition zu berechnen. Somit ist das wichtigste Merkmal des MAC, dass der Rover den größten Teil der Berechnungen selbständig durchführt, was allerdings nur von modernen Empfängern/Software geleistet werden kann [LGL (2019)].

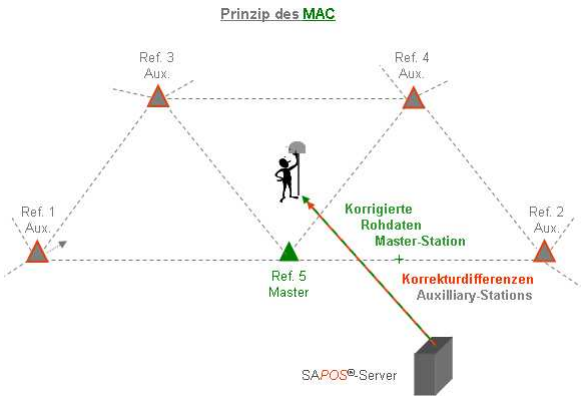


Abb. 5 - 49: Prinzip des MAC [LGL (2019)]

Um die Korrekturdaten zu erhalten, muss eine Kommunikation zwischen der SAPOS-Zentrale und dem GNSS-Gerät erfolgen. Diese wird über das Mobilfunknetz realisiert. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten, über den Sprachkanal der Mobilfunknummer oder über das mobile Internet und das Networked Transport of RTCM via Internet Protokoll (Ntrip). Die SIM-Karte des Mobilfunkanbieters befindet sich in den meisten Fällen direkt im GNSS-Empfänger, der über eine eingebaute Mobilfunkeinheit verfügt.

Die Korrekturdaten werden im Radio Technical Commission for Maritime services (RTCM) Format versendet. Wie zuvor erwähnt, kann dies auf zwei Arten erfolgen. Die Übertragung über den Sprachkanal wird in naher Zukunft komplett durch das Ntrip Verfahren abgelöst, da bei Ntrip eine größere Anzahl an Daten und Informationen versendet werden sowie mehr Nutzer gleichzeitig den Service nutzen können. Bei Ntrip wird die mobile Internetverbindung genutzt um über die I.P.-Adresse und Portnummer auf den Webserver der SAPOS-Zentrale zu gelangen und somit die Korrekturdaten zu erhalten.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die SAPOS-Stationen in Rheinland-Pfalz und die verschiedenen SAPOS-Dienste im Überblick.

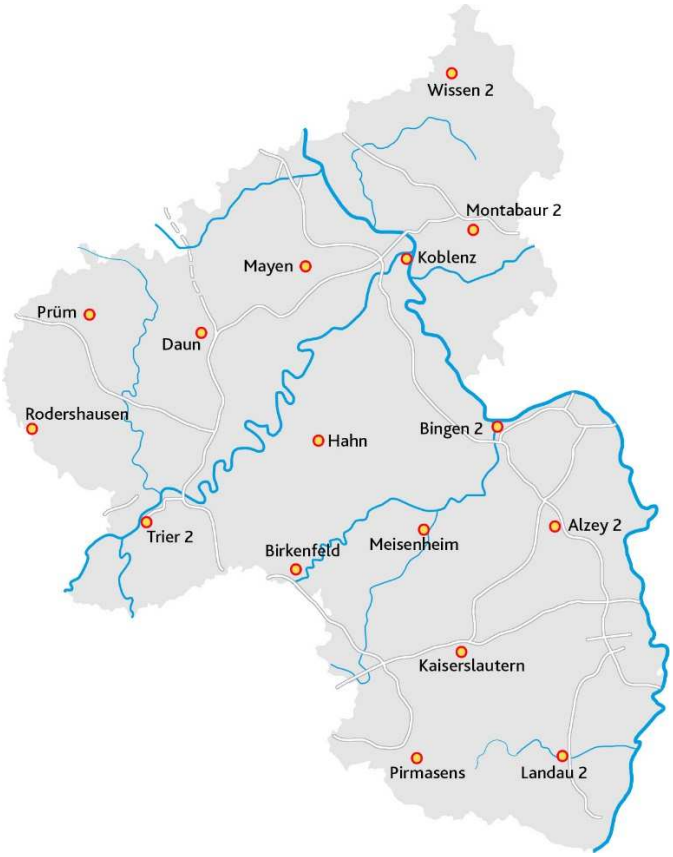


Abb. 5 - 50: SAPOS-Stationen in Rheinland-Pfalz [LVermGeo (2019)]

SAPOS®	EPS	HEPS	GPPS
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

Abb. 5 - 51: SAPOS-Dienste im Überblick [AdV (2019)]

Die besten Messergebnisse liefert ein GNSS-Gerät im offenen Gelände, bei freier Sicht zum Himmel, ohne störende Einflüsse von Objekten in der Umgebung. Durch Gebäude, Bewuchs und Bäume entsteht eine Verschlechterung der Messergebnisse. Die Bäume verringern den Empfangsbereich des GNSS-Geräts. Durch die Verwendung von GPS und GLONASS Satelliten ist dies deutlich verbessert worden, aber dennoch kann die Satellitenkonstellation durch den geringeren Empfangsbereich schlechtere Messergebnisse liefern. Des Weiteren treten Multipath- oder auch Mehrwegeffekte auf. Durch die störenden Objekte treffen die Signale von den Satelliten nicht direkt auf der Antenne auf, sondern gelangen zum Beispiel durch Reflexionen über Umwege zur Antenne.

Bei Messungen im dichten Wald ist die Verschlechterung so groß, dass nur noch eine Genauigkeit im Meterbereich vorliegt, was für diese Messzwecke zu ungenau ist. Durch die Trassenfreistellung beim Ausbau der Wirtschaftswege im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ entstanden freie Schneisen. Es wird untersucht, ob die Trassenfreistellung eine GNSS-Messung im Dezimeterbereich ermöglicht.

5.2.2 Leica Viva GS 16 / Leica CS 20 (Hochschule Mainz)

Die erste verwendete Messeinheit ist die Leica Viva GS 16 GNSS Antenne in Verbindung mit dem Leica CS 20 Feld-Controller. Zur Verfügung gestellt wurde die Messeinheit von der Hochschule Mainz. Die Leica Viva GS 16 ist eine GNSS Antenne für statische und Echtzeitmessungen. Sie empfängt GPS, GLONASS, BeiDou, GALILEO, QZSS sowie SBAS Signale und verfügt über 555 Kanäle. Zum Empfang von Korrekturdaten ist eine Mobilfunkeinheit integriert. Als Mobilfunkanbieter steht eine SIM-Karte der deutschen Telekom zur Verfügung.

Die Kommunikation mit dem Feld-Controller Leica CS 20 wird über eine Bluetooth Verbindung realisiert. Der CS 20 hat einen 5 Zoll Farbbildschirm mit Touch, einen 1 Ghz Dual-core Prozessor mit Windows EC7. Die Messergebnisse werden in der Feldsoftware Leica Captivate gespeichert und ausgewertet.

Abb. 5 - 52: Leica Viva GS 16 / Leica CS 20

Mit dieser Messeinheit besteht die Möglichkeit Echtzeitmessungen, in Verbindung mit den Korrekturdaten des SAPOS-Dienstes, durchzuführen. Gemessen wird mit dem Echtzeit Positionierungs-Service (EPS). Bei EPS handelt es sich um eine Codemessung.

An der nächstgelegenen Referenzstation werden die Fehlereinflüsse auf die Signallaufzeit bestimmt und als Korrekturdaten an den Rover gesendet, dieser kann somit seine eigene Signallaufzeitmessung korrigieren. Laut Datenblatt der [AdV (2019)] ist eine Genauigkeit in der Lage von 0,3 bis 0,8 Metern zu erzielen.

Des Weiteren wird mit dem Hochpräzisen Echtzeit Positionierungs-Service (HEPS) gemessen. Mit HEPS ist durch die Trägerphasenmessung die höchste Genauigkeit im Echtzeitverfahren zu erzielen. Die Funktionsweise und die verschiedenen Vernetzungsrepräsentationen zur Korrekturdatenbestimmung wurden im vorherigen Kapitel beschrieben. Hiermit wird eine Genauigkeit laut [AdV (2019)] im Zentimeterbereich ermöglicht.

5.2.3 Ergebnis

Messen in Echtzeit mit einem GNSS-Gerät setzt voraus, dass eine stetige Verbindung mit der SAPOS-Zentrale gewährleistet ist um die Korrekturdaten zu empfangen. In ländlichen Bereichen bestehen jedoch immer noch Lücken im Mobilfunknetz. Das GNSS-Gerät der Hochschule Mainz verfügt über eine SIM-Karte der deutschen Telekom. Bei der Messung der ausgewählten Wege wurde festgestellt, dass die Netzabdeckung der deutschen Telekom im Bereich der Gemeinde Lug nicht ausreichend ist und das Empfangen der Korrekturdaten an mehreren Stellen der Waldwege nicht möglich war. Dies zeigt auch die Abbildung 5-53, ein Ausschnitt der Netzabdeckungskarte der deutschen Telekom. An welchen Stellen genau keine Korrekturdaten vorlagen wird im weiteren Verlauf erläutert.

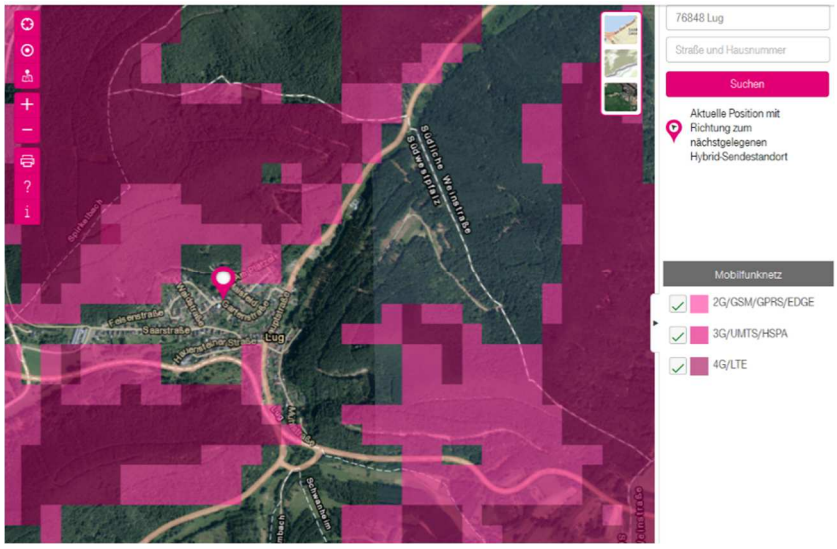


Abb. 5 - 53: Netzabdeckung Telekom [Telekom (2019)]

Die Überprüfung ob eine Messung mit EPS eine ausreichende Genauigkeit liefert, konnte nur bedingt erfolgen. Die Messeinheit verfügt zwar über eine Verarbeitung der EPS Korrekturdaten, jedoch konnte seitens der Hochschule nur eine Konfiguration der GNSS Antenne mit einer Verarbeitung von GPS Satelliten zur Verfügung gestellt werden. Gerade in solch einem schwierigen Messgebiet ist eine Nutzung von GPS und GLONASS Satelliten essenziell. Durch die Abschattung der Bäume verringert sich die Anzahl der nutzbaren Satelliten und eine Messung nur mit GPS Satelliten war nicht aussagekräftig. An allen Stellen mit Empfang der Korrekturdaten wurde eine Messung mit EPS durchgeführt. Wenn die Abschattung der Bäume den Empfang von vier Satelliten zuließ, war jedoch, egal an welcher Stelle getestet wurde, eine maximale Genauigkeit im Meterbereich zu erzielen. Dies ist für die Bestimmung von Sollpunkten viel zu ungenau. Bei einer Verfügbarkeit von GPS und GLONASS Satelliten sollte die Genauigkeit von 0,3 bis 0,8 Metern laut [AdV (2019)] zu erzielen sein. Da keine bessere Genauigkeit als einen Meter mit den EPS Korrekturdaten erreicht werden konnte, sind alle weiteren Messungen mit HEPS durchgeführt worden.

Beim neuen Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106 konnten nicht auf der gesamten Länge des Weges Korrekturdaten empfangen werden. Die Abbildung 5-54 zeigt die Bereiche mit Empfang der Korrekturdaten.

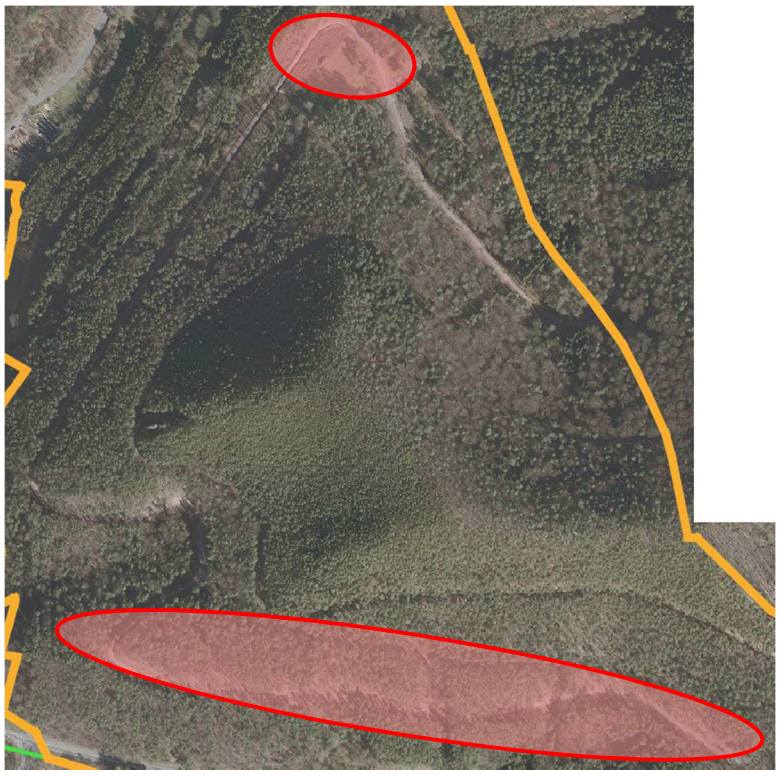


Abb. 5 - 54: Weg 104, 105, 106 Empfang von Korrekturdaten

Im kleineren nördlichen Bereich war der Empfang von Korrekturdaten und eine Messung mit HEPS möglich. Bevor jedoch mit der erreichbaren HEPS Genauigkeit im Zentimeterbereich gemessen werden kann, ist das Lösen der Phasenmehrdeutigkeiten notwendig. Dies beansprucht auch die meiste Zeit beim Messen mit einem GNSS-Gerät. Es muss gewartet werden bis das Gerät bestätigt dass, die Phasenmehrdeutigkeiten gelöst sind und die Messung initialisiert ist. Dies wird auch schlagartig sichtbar, denn die Genauigkeitsanzeige des GNSS-Gerätes springt in den erreichbaren Zentimeterbereich. Die Anzeige muss dann während der gesamten Messung im Auge behalten werden, denn es kann jederzeit zu einem Verlust der Initialisierung kommen und die Messung ist unbrauchbar. Im Genauigkeitsbereich bis zu 5 Zentimetern ist eine Messung möglich. Verschlechtert sich die Anzeige ist eine brauchbare Messung aufgrund zu stark schwankender Genauigkeit nicht mehr gewährleistet.

Ein Indiz dafür wie stark die Abschattungen der Bäume sind und somit das Stören der Satellitensignale, ist die Zeit bis zur Initialisierung. Im zuvor nördlich gekennzeichneten Bereich des Weges ist ein großer freier Bereich ohne Bäume. Dort war die Initialisierung des GNSS-Gerätes ohne Probleme möglich. Trotz der guten Voraussetzungen für eine GNSS Messung war der messbare Bereich klein da, nur dort Korrekturdaten empfangbar waren. Die Abbildung 5-55 zeigt einen Screenshot des Messbildschirmes. Dort ist in der oberen rechten Ecke des Bildes die 2D Genauigkeit während der Messung des Punktes angegeben. Sie lag bei 0,9 cm auf dieser Abbildung.

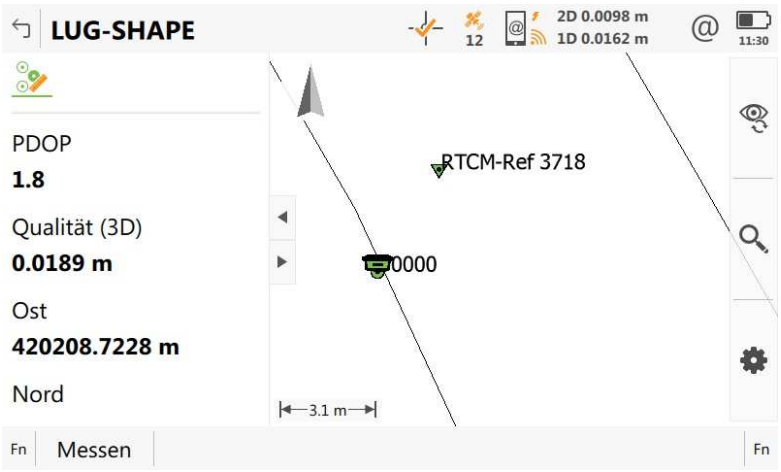


Abb. 5 - 55: Weg 104, 105, 106 Genauigkeit der Messung im nördlichen Bereich

Im südlichen Bereich des Weges mit empfangbaren Korrekturdaten ist eine wirkliche Aussage über die Messbarkeit des Weges zu treffen. Hier ist die Abschattung der Bäume deutlich bemerkbar. Das Lösen der Mehrdeutigkeiten benötigt um einiges mehr Zeit.

Dabei gibt es keinen pauschalen Wert, sondern dies ist von Punkt zu Punkt unterschiedlich. Eine schnelle Initialisierung benötigte 2 Minuten, die Längste 15 Minuten. Auch festzustellen war, dass die Punkte auf der südlichen Wegeseite schneller initialisierten als die nördlichen Punkte. Grund waren die Bäume, die auf der nördlichen Seite näher am Weg standen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Bereich des Weges vor Ort, die Genauigkeit der Messung sowie die gemessenen Punkte mit hinterlegtem Orthophoto.

Abb. 5 - 56: Weg 104, 105, 106 Messung vor Ort

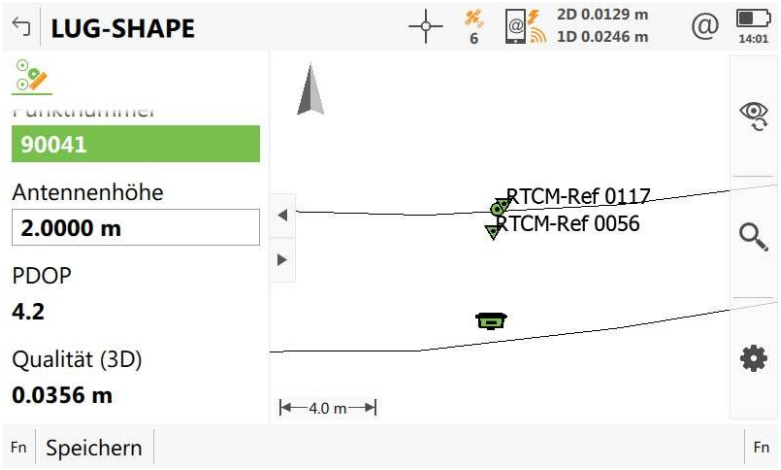


Abb. 5 - 57: Weg 104, 105, 106 Genauigkeit der Messung im südlichen Bereich

Abb. 5 - 58: Weg 104, 105, 106 Punkte im Orthophoto

Grundsätzlich ist festzustellen, dass der Weg 104, 105, 106, an allen Stellen mit Korrekturdaten, eine HEPS Messung zulässt. Des Weiteren zeigen die zwei unterschiedlichen Abschattungsbereiche, im Norden und im Süden, wie stark sich der Einfluss der Bäume auf die Initialisierung auswirkt.

Beim neuen Erdweg mit der Nummer 113 waren nur die ersten 150 Meter von Lug aus kommend messbar. Problem stellte hier ebenfalls das Fehlen der Korrekturdaten aufgrund des mangelnden Mobilfunknetzes da. Der messbare Bereich wurde jedoch durch die gute Trassenfreistellung an dieser Stelle begünstigt, was den Einfluss der Bäume bei der Messung verringerte und somit eine schnelle Initialisierung ermöglichte. Wie sich das Messverhalten im weiteren Verlauf des Weges darstellte konnte mit dem GNSS-Gerät der Hochschule nicht ermittelt werden. Die Abbildung 5-59 zeigt den Erdweg mit der Nummer 113 sowie der Bereich an dem Korrekturdaten empfangen werden konnten.

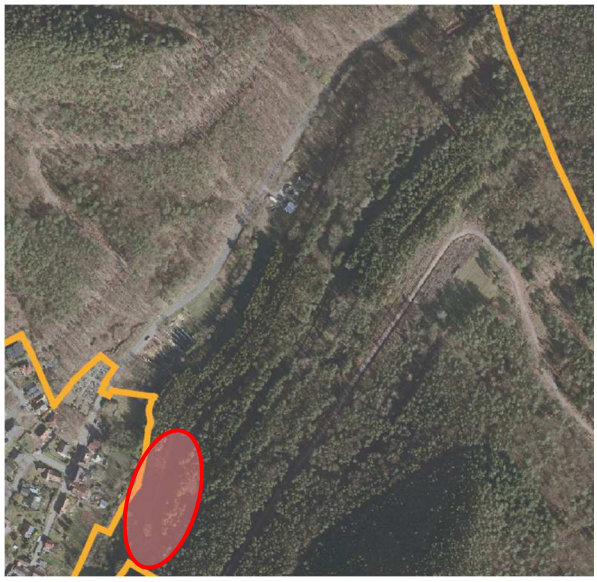


Abb. 5 - 59: Weg 113 Empfang von Korrekturdaten

Der neue Schotterweg mit der Nummer 115 und 117 ist ebenfalls vom Fehlen der Korrekturdaten betroffen. Empfangen werden die Daten nur auf den ersten 200 Metern vom Ort Lug aus kommend sowie auf den letzten 270 Metern des Weges. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Schotterweg Nummer 115 und 117 mit den Bereichen in denen Korrekturdaten empfangen wurden.

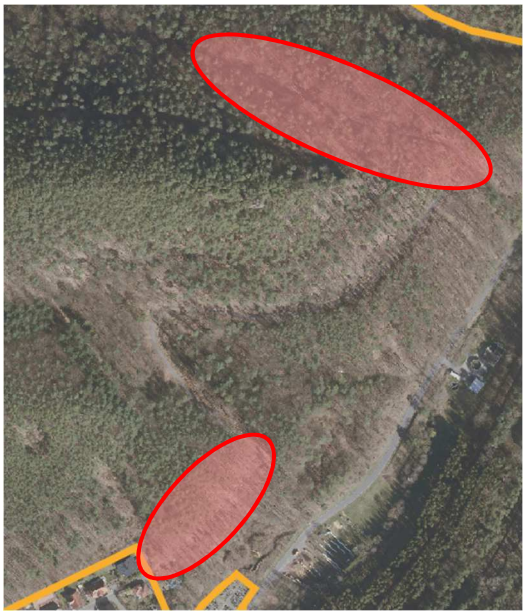


Abb. 5 - 60: Weg 115, 117 Empfang von Korrekturdaten

Die Trassenfreistellung dieses Weges ist ziemlich ähnlich der des Schotterweges Nummer 104, 105 und 106. Die Abbildung 5-61 zeigt die freie Trasse des Weges 115, 117.

Abb. 5 - 61: Weg 115, 117 Messung vor Ort

Es war anzunehmen, dass durch die ähnliche Charakteristik des Weges ein vergleichbares Messergebnis zu erzielen ist. Jedoch benötigte das Lösen der Mehrdeutigkeiten erheblich mehr Zeit als beim Weg 104, 105 und 106. Im Bereich nahe des Ortes dauerte das Initialisieren im Schnitt 5 Minuten. Im zweiten Bereich am Ende des Weges 115 und 117 benötigte das GNSS-Gerät noch länger. Dort musste teilweise 20 Minuten gewartet werden bis eine Lösung der Mehrdeutigkeiten zur Verfügung stand. Das Benötigen von mehr Zeit für die Initialisierung ist auf die topographische Lage des Weges zurückzuführen. Der Berg auf der westlichen Seite des Weges schattet, zusätzlich zu den Bäumen, das Empfangen von Satellitensignalen ab. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Genauigkeit der Messung im Bereich des Ortes Lug.

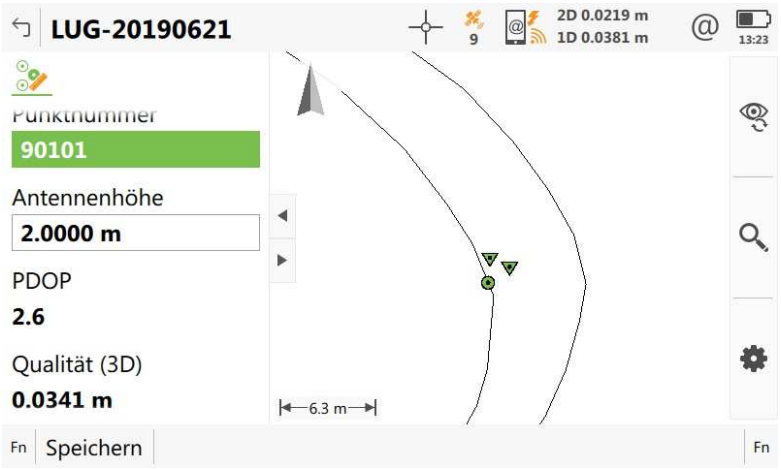


Abb. 5 - 62: Weg 115, 117 Genauigkeit der Messung

Allgemein ist zu sagen, dass in den Bereichen mit Korrekturdaten der Weg 115 und 117 messbar ist. Jedoch ist aufgrund der topographisch schlechteren Lage ein größerer Zeitaufwand nötig, um Messergebnisse in der gewünschten Genauigkeit zu erhalten.

Beim nicht neu ausgebauten Erdweg mit der Nummer 124 konnten auf gesamter Länge keine Korrekturdaten empfangen werden. Aufgrund des starken Bewuchses des Weges ist auch davon auszugehen, dass die Abschattungen der Bäume so stark sind, dass kein Lösen der Mehrdeutigkeiten möglich ist.

Die Messungen mit dem GNSS-Gerät der Hochschule Mainz haben gezeigt wie wichtig die Mobilfunkverbindung beim Messen mit einem GNSS-Gerät ist. An den Stellen mit Korrekturdaten konnte jedoch überall eine Messung mit HEPS durchgeführt werden. Auch wenn der Zeitaufwand bis zur Messung in manchen Bereichen nicht wirtschaftlich ist. Das GNSS-Gerät der Technischen Zentralstelle verfügt über eine SIM-Karte von

Vodafone. In den weiteren Kapiteln wird auf die Messungen mit diesem Gerät eingegangen. Dabei wird überprüft, ob eine bessere Netzabdeckung mit Vodafone besteht, um in allen Bereichen der ausgewählten Wege eine Aussage über die Messbarkeit zu treffen.

5.2.4 Leica Viva GS 14 / Getac F 110 (TZ DLR)

Die zweite verwendete Messeinheit ist eine Leica Viva GS 14 GNSS Antenne in Verbindung mit dem Getac F 110 Outdoor Tablet. Diese Messeinheit ist eines der Pool-Geräte der Passpunktbestimmer der Technischen Zentralstelle in Bad Kreuznach. Die Leica Viva GS 14 ist eine GNSS Antenne für statische und Echtzeitmessungen. Sie empfängt ebenfalls GPS, GLONASS, BeiDou, GALILEO, QZSS sowie SBAS Signale, verfügt jedoch nur über 120 Kanäle. Eine integrierte Mobilfunkeinheit, zum Empfang von Korrekturdaten, steht auch bei diesem Modell zur Verfügung. Als Mobilfunkanbieter hat die Technische Zentralstelle Verträge mit Vodafone abgeschlossen.

Das Getac F 110 Outdoor Tablet ist über eine Bluetooth Verbindung mit der Leica Viva GS 14 Antenne verbunden. Es verfügt über ein 11,6 Zoll großes HD-Display, dass per Touch oder mit einen Stift bedient werden kann. Des Weiteren ist ein Intel Core i5 Prozessor verbaut und das Tablet läuft unter dem Betriebssystem Windows 7. Als Software steht die Außendienstkomponente von GRIBS zur Verfügung. Dabei kann das jeweilige Verfahren auf den Feldrechner aufgespielt und die Daten im Projekt erfasst werden. Beim Auslesen der Messdaten im Innendienst erfolgt eine Verbindung mit dem Originalverfahren und alle Messergebnisse stehen dort zur Verfügung.

Abb. 5 - 63: Leica Viva GS 14 / Getac F 110

Diese Messeinheit bietet ebenfalls die Möglichkeit Echtzeitmessungen, in Verbindung mit den Korrekturdaten des SAPOS-Dienstes, durchzuführen. Jedoch kann die Außendienstkomponente von GRIBS nur Korrekturdaten des Hochpräzisen Echtzeit Positionierungs-Service (HEPS) verarbeiten. Aufgrund dessen kann auch keine Aussage über ein Ergebnis mit dem Echtzeit Positionierungs-Service (EPS) getroffen werden. Mit dieser Messeinheit ist die gleiche Genauigkeit, laut [AdV (2019)] Übersicht, im Zentimeterbereich zu erzielen.

5.2.5 Ergebnis

Die Grundvoraussetzung um Messungen in Echtzeit mit den Korrekturdaten des SAPOS-Dienstes durchführen zu können, ist die ständige Mobilfunkverbindung mit der SAPOS-Zentrale. Die Technische Zentralstelle in Bad Kreuznach hat für alle GNSS-Geräte Mobilfunkverträge mit Vodafone abgeschlossen. Durch diesen anderen Netzbetreiber konnte festgestellt werden, dass die Netzabdeckung von Vodafone im Bereich der Gemeinde Lug erheblich besser ist, als die Netzabdeckung der deutschen Telekom. Auf allen gemessenen Wirtschaftswegen war eine ständige Verbindung mit der SAPOS-

Zentrale gewährleistet, sodass keine Probleme beim Empfang der Korrekturdaten bestand. Dies zeigt auch die Abbildung 5-64, einen Ausschnitt aus der Netzabdeckungskarte von Vodafone. Darauf ist zu erkennen, dass im gesamten Bereich der Gemeinde Lug eine Mobilfunkverbindung zur Verfügung steht.

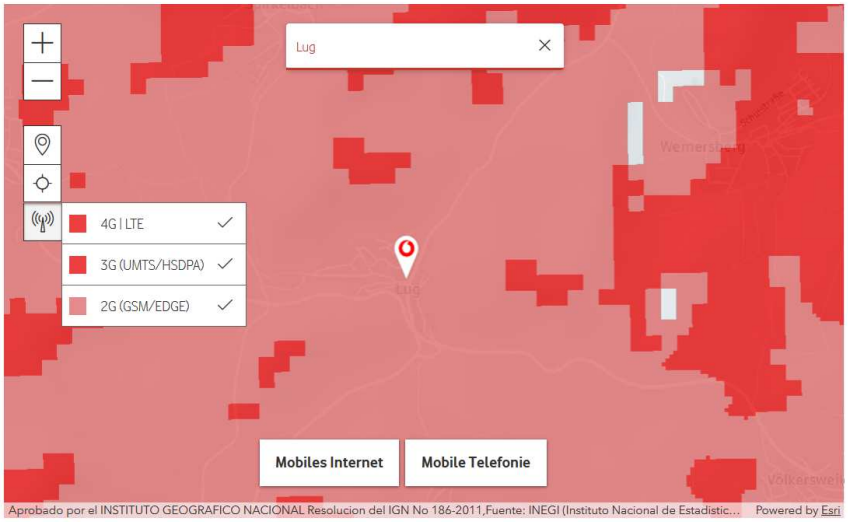


Abb. 5 - 64: Netzabdeckung Vodafone [Vodafone (2019)]

Der neue Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106 konnte aufgrund der überall verfügbaren Korrekturdaten auf der gesamten Länge mit HEPS gemessen werden. In den Bereichen, die auch mit dem GNSS-Gerät der Hochschule messbar waren, stellte sich kein Unterschied zum GNSS-Gerät der Technischen Zentralstelle da. Das Lösen der Mehrdeutigkeiten benötigte bei beiden Geräten in etwa die gleiche Zeit. Die Antenne des älteren Typs und die unterschiedliche Software machen somit keinen signifikanten Unterschied beim Messen des Weges aus.

Die bis dahin noch nicht gemessenen Teile des Weges waren ebenfalls ähnlich messbar wie die zuvor beschriebenen. In der Abbildung 5-65 sind blaue und grüne Bereiche des Weges 104, 105, 106 dargestellt. Bei den grünen Bereichen war eine schnellere Initialisierung des GNSS-Gerätes festzustellen. Dort betrug die Zeit bis zum Lösen der Mehrdeutigkeiten zwischen 2 Minuten und 10 Minuten. Die blauen Bereiche benötigten etwas mehr Zeit. Dort waren es zwischen 5 Minuten und 15 Minuten. Grund dafür ist der stärkere Baumbestand in diesem Bereich.

Abb. 5 - 65: Weg 104, 105, 106 Unterschiedliche Initialisierungsberieche

Beim neuen Erdweg mit der Nummer 113 stellen sich sehr unterschiedliche Messbedingungen dar. Wie schon beim GNSS-Gerät der Hochschule waren die ersten 150 Meter von Lug aus kommend, aufgrund der breiten Trassenfreistellung, gut messbar. Ebenfalls gut messbar waren die letzten 140 Meter am Ende des Weges. Die Wegeseite nordwestliche ist auf dieser Strecke ohne Baumbestand, was erklärt, wieso dort eine schnelle Initialisierung des GNSS-Gerätes möglich war. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die gemessenen Punkte mit hinterlegtem Orthophoto, sowie den Bereich des Weges vor Ort.

Abb. 5 - 66: Weg 113 Punkte im Orthophoto

Abb. 5 - 67: Weg 113 Messung vor Ort

Im weiteren Verlauf des Weges Richtung Ort verschlechtert sich die Messbarkeit, bis zu einem Bereich in dem ein kompletter Überhang der Bäume das Messen verhindert. Die Abbildung 5-68 zeigt die Genauigkeit beim letzten messbaren Punkt kurz vor dem Überhang der Bäume. Dort lag die Genauigkeit der Messung nur noch bei 3,3 cm.

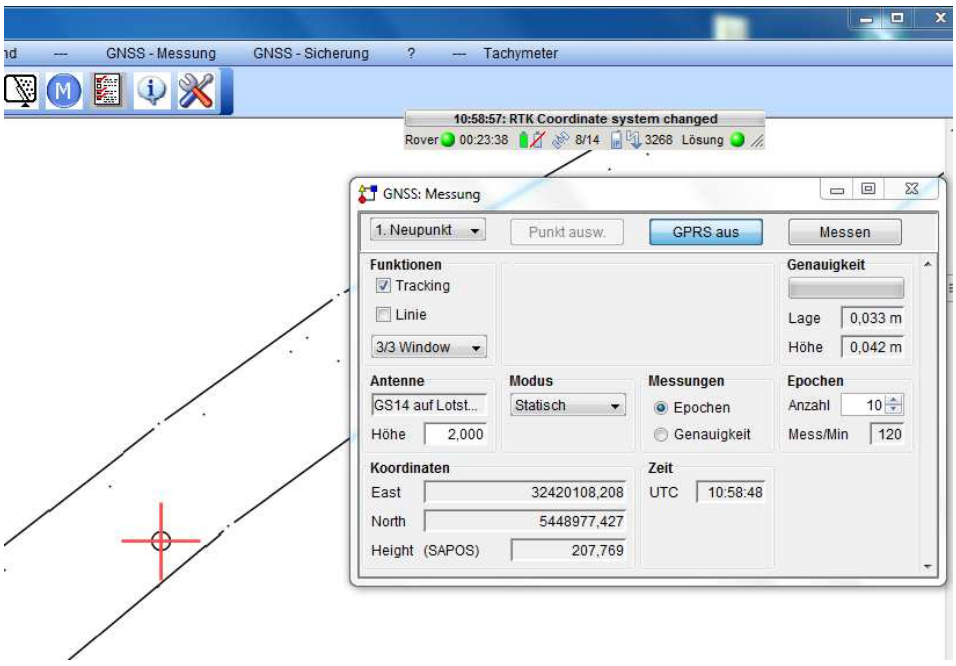


Abb. 5 - 68: Weg 113 Genauigkeit der Messung

Die weitere Abbildung 5-69 zeigt den Überhang der Bäume die das Messen nicht möglich machten.

Abb. 5 - 69: Weg 113 Überhang der Bäume

Nach der Stelle mit dem Überhang der Bäume folgt wieder ein Bereich, der auf der nordwestlichen Seite des Weges keine Bäume aufweist. Dort ist ebenfalls ein gutes Messergebnis zu erzielen. Im Anschluss daran folgt ein dichter Nadelwald. Trotz einer Wartezeit von 20 Minuten und mehrmaligem neu einwählen bei der SAPOS-Zentrale, war im Nadelwald keine Messung möglich. Abbildung 5-70 zeigt den Bereich des Nadelwalds vor Ort.

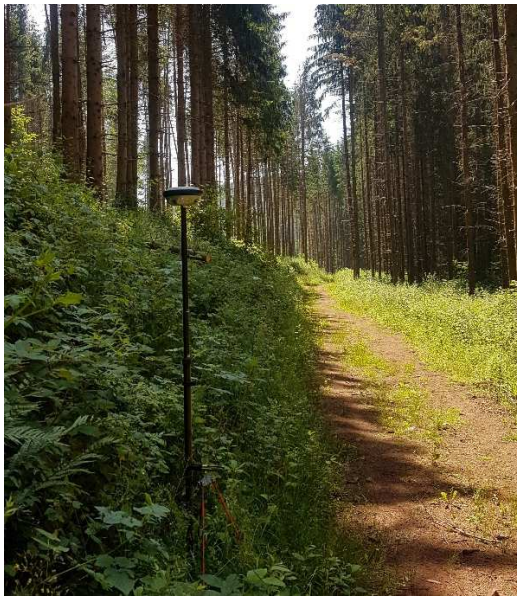


Abb. 5 - 70: Weg 113 Dichter Nadelwald

Nach dem dichten Nadelwald schließt der schon zuvor beschriebene Bereich, kurz vor der Ortslage Lug, mit guter Trassenfreistellung an.

Die Abbildung 5-71 stellt die messbaren Bereiche des Weges 113 in grün dar, sowie die nicht messbaren in rot.

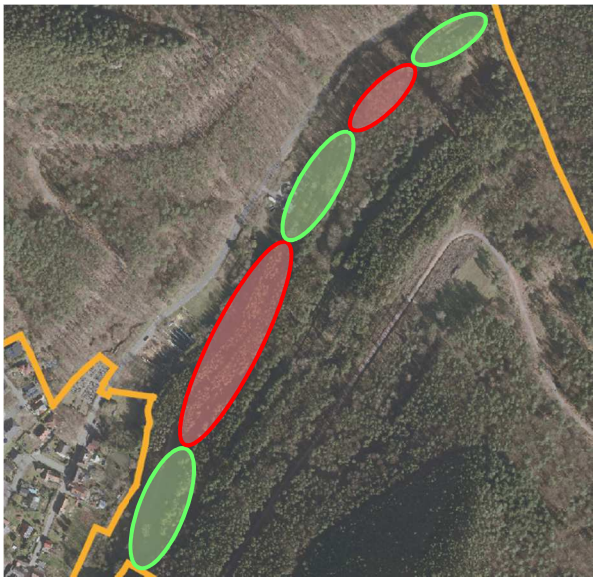


Abb. 5 - 71: Weg 113 Messbare und nicht messbare Bereiche

Auf dem neuen Schotterweg mit der Nummer 115 und 117 konnte, trotz Empfang von Korrekturdaten auf gesamter Länge des Weges, nicht an allen Stellen gemessen werden. Die messbaren Bereiche decken sich mit denen des GNSS-Gerätes der Hochschule. Die ersten 200 Meter vom Ort Lug aus kommend sowie auf den letzten 270 Metern des Weges. Auf der Abbildung 5-72 ist die Genauigkeit der Messung im Bereich des Ortes ersichtlich.

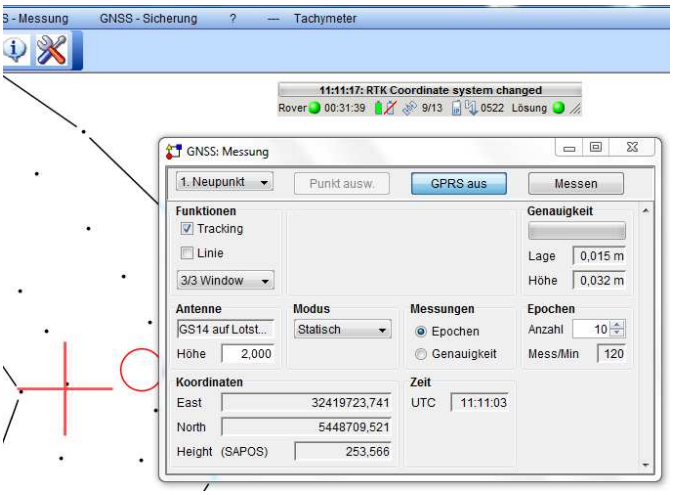


Abb. 5 - 72: Weg 115, 117 Genauigkeit der Messung

Konnte jedoch beim GNSS-Gerät der Hochschule der Bereich zwischen den messbaren Stellen aufgrund der fehlenden Korrekturdaten nicht gemessen werden, so lag das Problem des GNSS-Gerätes der Technischen Zentralstelle am nicht Lösen der Mehrdeutigkeiten. Dass die Messbedingungen auf dem Weg 115, 117 allgemein schlechter sind, wurde schon im Kapitel des GNSS-Gerätes der Hochschule erläutert. Dort wurde festgestellt dass die Initialisierung am Ende des Weges bis zu 20 Minuten benötigt. Dies war auf die schlechte topographische Lage des Weges zurückzuführen. Der Berg auf der westlichen Seite des Weges schattet, zusätzlich zu den Bäumen, das Empfangen von Satellitensignalen ab, was im weiteren Verlauf des Weges sogar die Initialisierung des GNSS-Gerätes verhindert.

Dieser Weg zeigt, dass nicht nur das Empfangen der Korrekturdaten und die Trassenfreistellung wichtig für eine Messung mit einem GNSS-Gerät sind, sondern auch die topographische Lage einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Messung hat.

Die Abbildung 5-73 zeigt die messbaren Bereiche des Weges 115, 117 in grün und die nicht messbaren in rot.

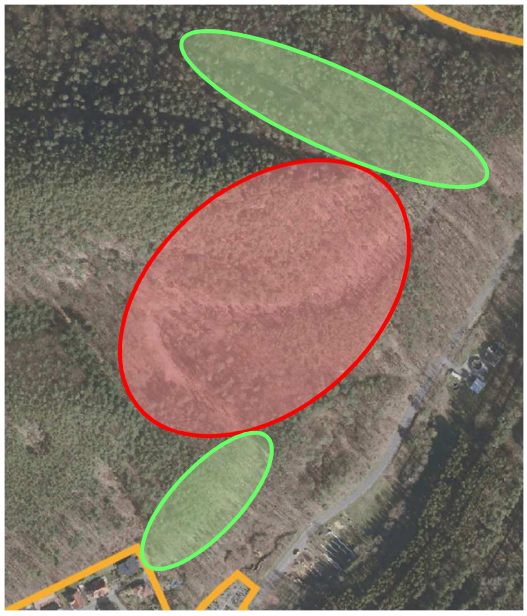


Abb. 5 - 73: Weg 115, 117 Messbare und nicht messbare Bereiche

Beim nicht neu ausgebauten Erdweg mit der Nummer 124 war das Empfangen von Korrekturdaten mit dem GNSS-Gerät der Technischen Zentralstelle möglich. Die Abschattung aufgrund des starken Bewuchses des Weges war jedoch so stark, dass keine Initialisierung des GNSS-Gerätes erfolgte. Die Genauigkeit bewegte sich im Bereich von einem Meter, was für die Bestimmung von Sollpunkten zu ungenau ist.

Beim Messen mit dem GNSS-Gerät der Technischen Zentralstelle konnte, dank der überall verfügbaren Korrekturdaten, der Einfluss der Abschattung und der topographischen Lage eines Weges näher untersucht werden.

Allgemein ist festzustellen, dass eine Messung mit einem GNSS-Gerät nach Ausbau der Wirtschaftswege im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ möglich ist. Die Schneise, die durch den Ausbau der Wirtschaftswege entsteht, ermöglicht eine GNSS-Messung. Wichtig ist dabei der Grad der Freistellung. Die Schotterwege wurden in größerem Maße freigestellt was die Messbarkeit erheblich steigerte. Jedoch kann eine ungünstige Topographie den Vorteil der Freistellung wieder reduzieren. Die Messungen fanden im Sommer, Juni 2019, bei vollem Laubausbruch statt. Eine Messung im Winter ohne Laub sollte die Messbarkeit weiter steigern. Ein immer noch bestehendes Problem ist das Fehlen eines flächendeckenden Mobilfunknetzes. Ohne das Empfangen von Korrekturdaten ist keine Echtzeitmessung mit dem SAPOS-Korrekturdatendienst möglich. Dies sollte sich im Zuge des Netzausbaus in naher Zukunft weiter verbessern.

5.3 Vergleich

Beim direkten Vergleich der beiden Messmethoden fällt auf, dass die im Stereomodell festgelegten Wegegrenzen meist etwas schmaler digitalisiert wurden als bei der Vermessung mit dem GNSS-Gerät vor Ort. Im Stereomodell sind die Wegekanten oder Böschungen schwerer zu identifizieren. Handelt es sich dabei noch um einen Erdweg, der keinen Kontrast zur Umgebung darstellt, ist die Festlegung noch schwieriger. Des Weiteren sind bei flachen Böschungen die Bruchkannten im Stereomodell nicht erkennbar. Das Signalisieren der Böschungen und Wegegrenzen, wie im Kapitel 5.1.4 beschrieben, hilft bei der Festlegung enorm. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einen direkten Vergleich der Messergebnisse, die Auswertung im Stereomodell ist in rot dargestellt, in blau und grün die Ergebnisse der GNSS-Messung.

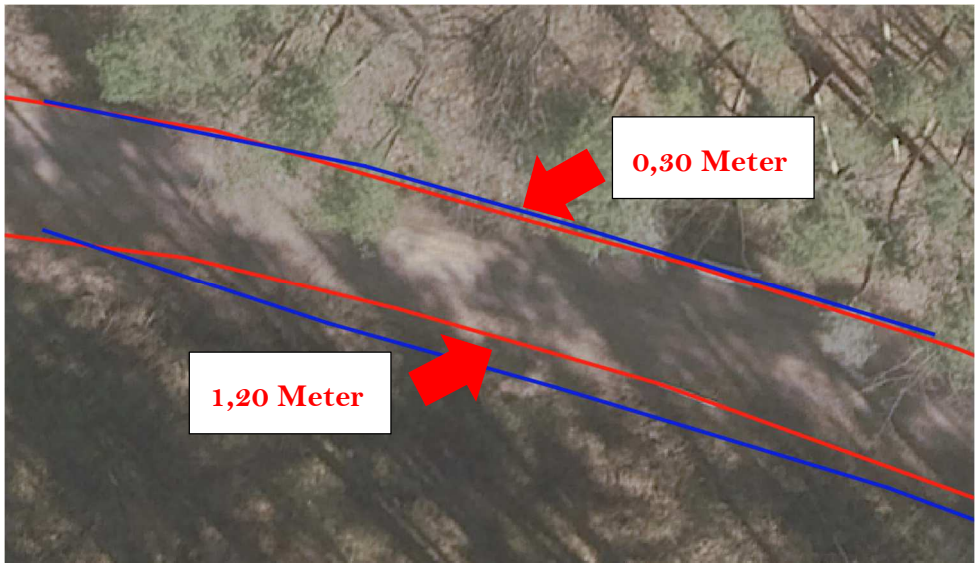
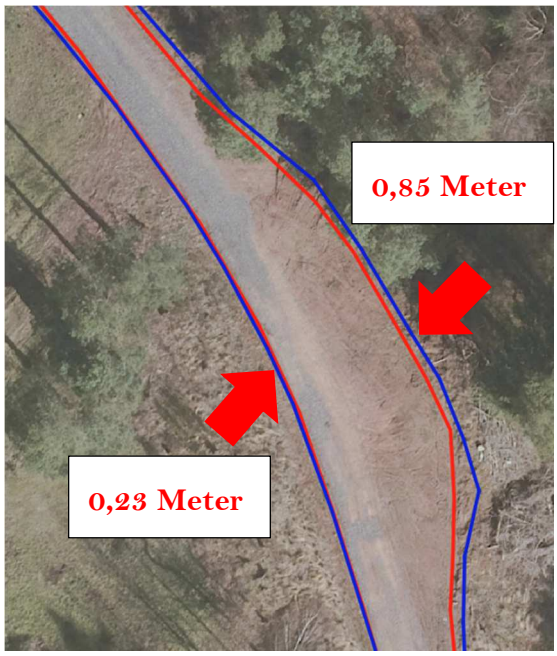


Abb. 5 - 74: Weg 104, 105, 106 Vergleich der Messmethoden 1/3



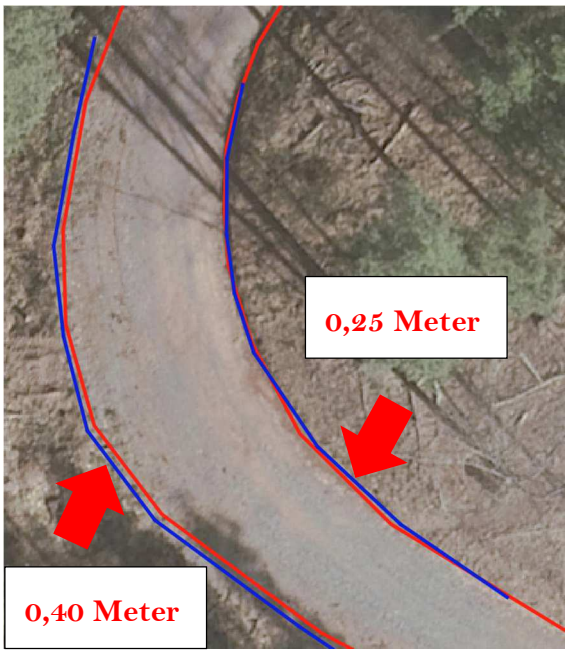


Abb. 5 - 75: Weg 104, 105, 106 Vergleich der Messmethoden 2/3

Abb. 5 - 76: Weg 104, 105, 106 Vergleich der Messmethoden 3/3

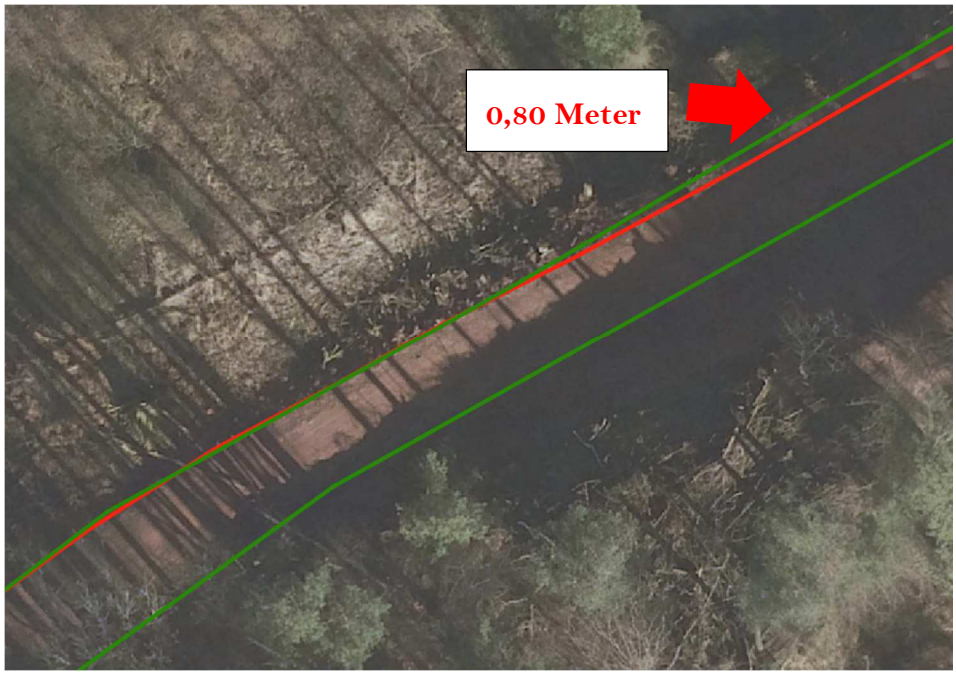


Abb. 5 - 77: Weg 113 Vergleich der Messmethoden

Abb. 5 - 78: Weg 115, 117 Vergleich der Messmethoden

Als weiteren Vergleich wurden digitalisierte Punkte aus dem Stereomodell vor Ort mit dem GNSS-Gerät abgesteckt. Dabei konnte das gleiche Ergebnis, wie zuvor beim direkten Vergleich der Messergebnisse, festgestellt werden. Im ersten Beispiel passte jedoch

die digitalisierte Wegegrenze aus dem Stereomodell mit der in der Örtlichkeit zusammen. Die Abbildungen zeigen das GNSS-Gerät vor Ort an der digitalisierten Stelle sowie die initialisierte Messung mit einer Genauigkeit von 3,5 cm und die Abweichungen der Absteckung von -1,6 cm im Rechtswert und 2,4 cm im Hochwert.

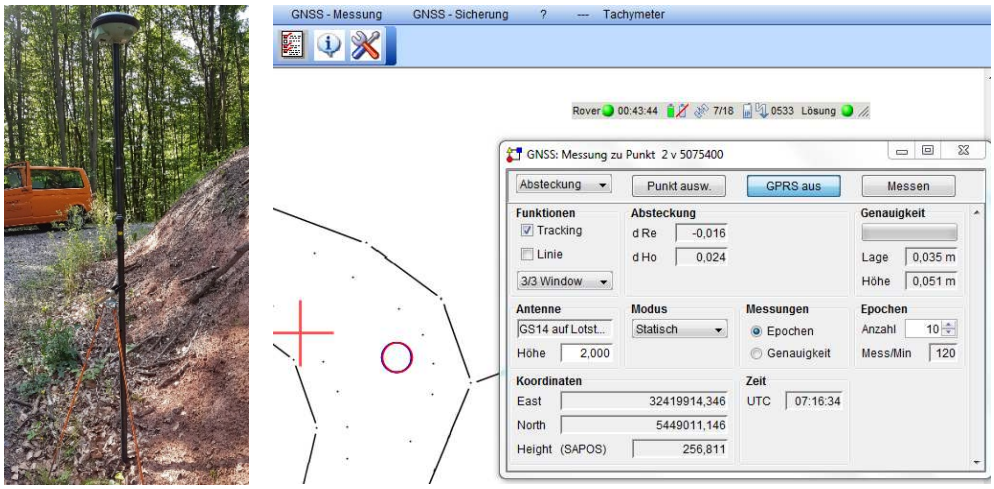


Abb. 5 - 79: Passende Absteckung vor Ort

Abb. 5 - 80: Passende Absteckungsergebnisse

Im zweiten Beispiel wurde die Wegegrenze, wie beim Großteil aller Punkte, im Stereomodell zu schmal digitalisiert. Auf der Abbildung 5-81 ist zu erkennen, dass zwischen dem abgesteckten GNSS-Stab und der Wegekante ca. 70 cm liegen. Die Abbildung 5-82 zeigt wiederum die initialisierte Messung mit einer Genauigkeit von 1,5 cm und die Abweichungen der Absteckung von -1,7 cm im Rechtswert und 1,6 cm im Hochwert.

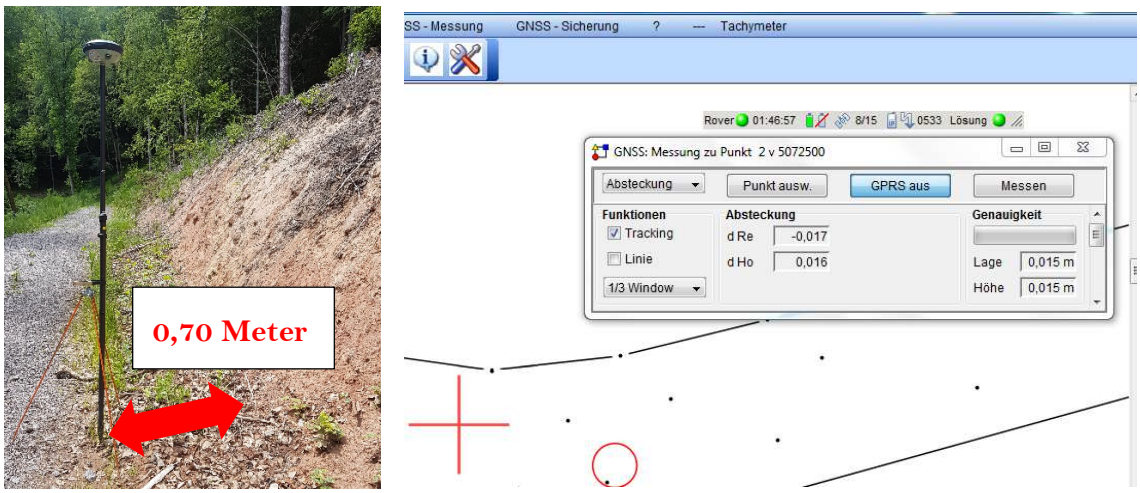


Abb. 5 - 81: Zu schmal digitalisierte Wegegrenze

Abb. 5 - 82: Absteckungsergebnisse

Um die ausgewählten Messmethoden in puncto Genauigkeit zu vergleichen, wurde ein Aufnahmepunkt (AP), der auf dem Weg mit der Nummer 115 und 117 liegt, mit beiden Messmethoden bestimmt. Eine terrestrische Bestimmung des Punktes durch eine Polygonzugmessung, aus der vorherigen Verfahrensbearbeitung, liegt ebenfalls vor und wird mit verglichen. Die Abbildungen 5-83 und 5-84 zeigen den AP vor Ort und im Orthophoto.

Abb. 5 - 83: AP in der Örtlichkeit

Abb. 5 - 84: AP im Orthophoto

Die Koordinierung des AP mittels Luftbildauswertung wird durch die Bündelblockausgleichung vorgenommen. Bei der Berechnung der Ausgleichung werden alle vorhandenen Passpunkte sowie die neu zu bestimmenden Punkte ausgewertet. Dabei wird eine bestmögliche Anpassung aller Punkte gerechnet und die neu zu bestimmenden Punkte koordiniert.

Die Bestimmung des AP mit dem GNSS-Gerät wurde nach Vorgabe des [ISM (2008)] durchgeführt: drei unabhängige Messungen mit einem zeitlichen Abstand von mindestens 30 Minuten zwischen den Messungen. Das GNSS-Gerät wurde bei jeder Messung neu aufgestellt und zentriert, sowie zwischen den jeweiligen Messungen eine neue Initialisierung vorgenommen. Die Abbildung 5-85 zeigt die drei Messungen, mit dem zeitlichen Abstand dZ von mindesten 30 Minuten zwischen den Messungen sowie die eingehaltene zulässige Abweichung der Einzelmessung zum Mittelwert dL.

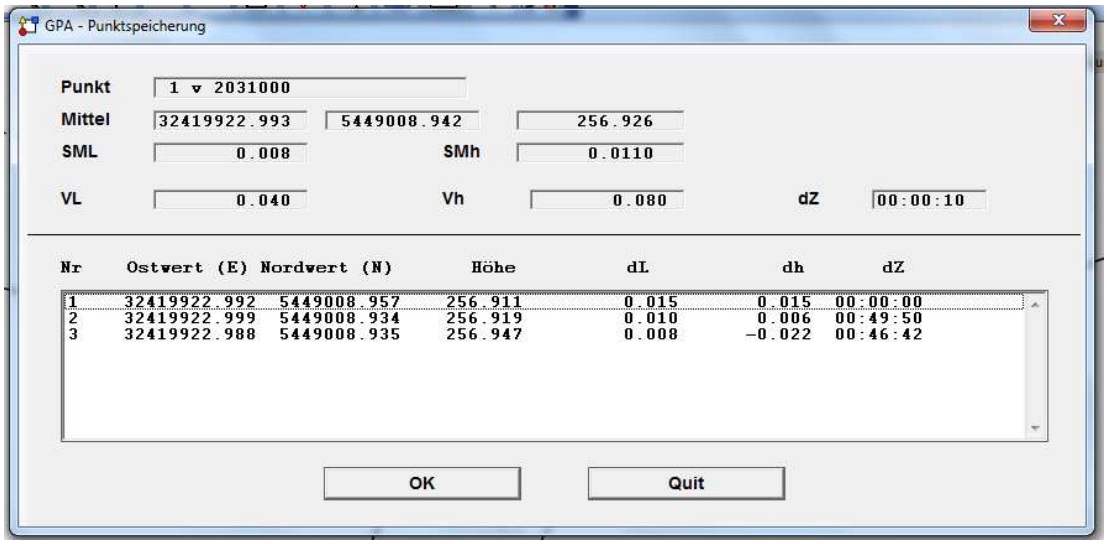


Abb. 5 - 85: Mittel der GNSS Bestimmung

Mit dem Speichern des Punktes ergibt sich die in der Abbildung 5-86 ersichtliche Koordinate und die dazugehörigen Punktattribute. In den beiden weiteren Abbildungen 5-87 und 5-88 sind die Koordinaten und Punktattribute der beiden anderen Punktbestimmungen zu sehen. 5-87 zeigt die Bestimmung mittels Bildverarbeitung und 5-88 die der Polygonzugmessung aus dem Jahre 2017.

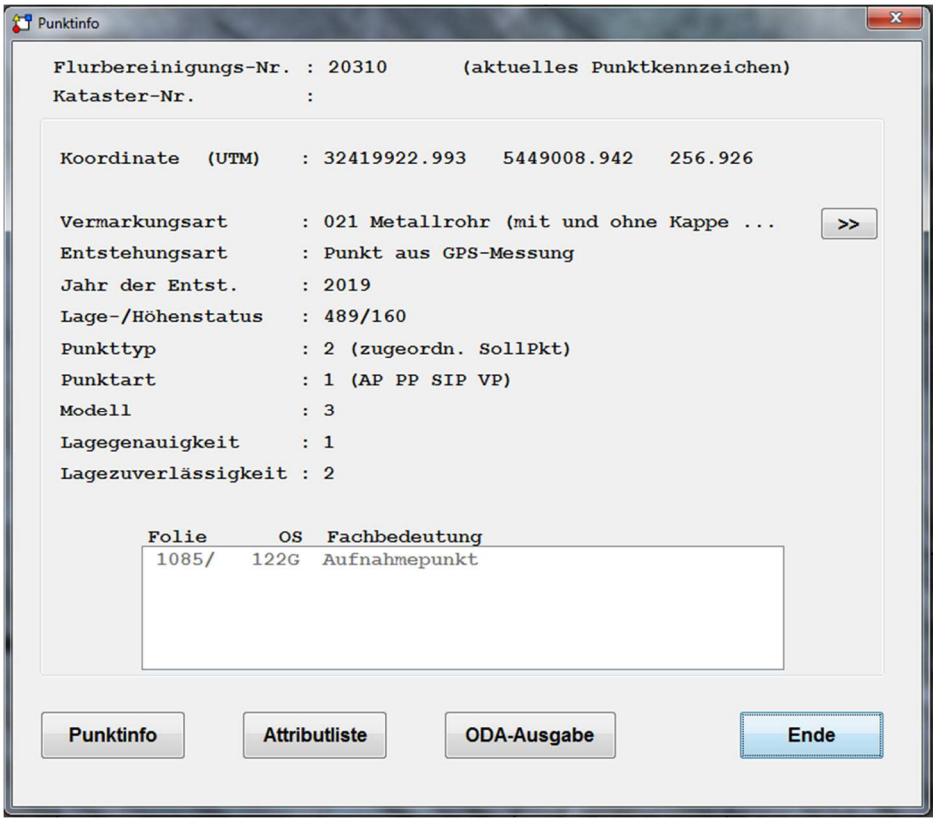


Abb. 5 - 86: AP GNSS-Messung

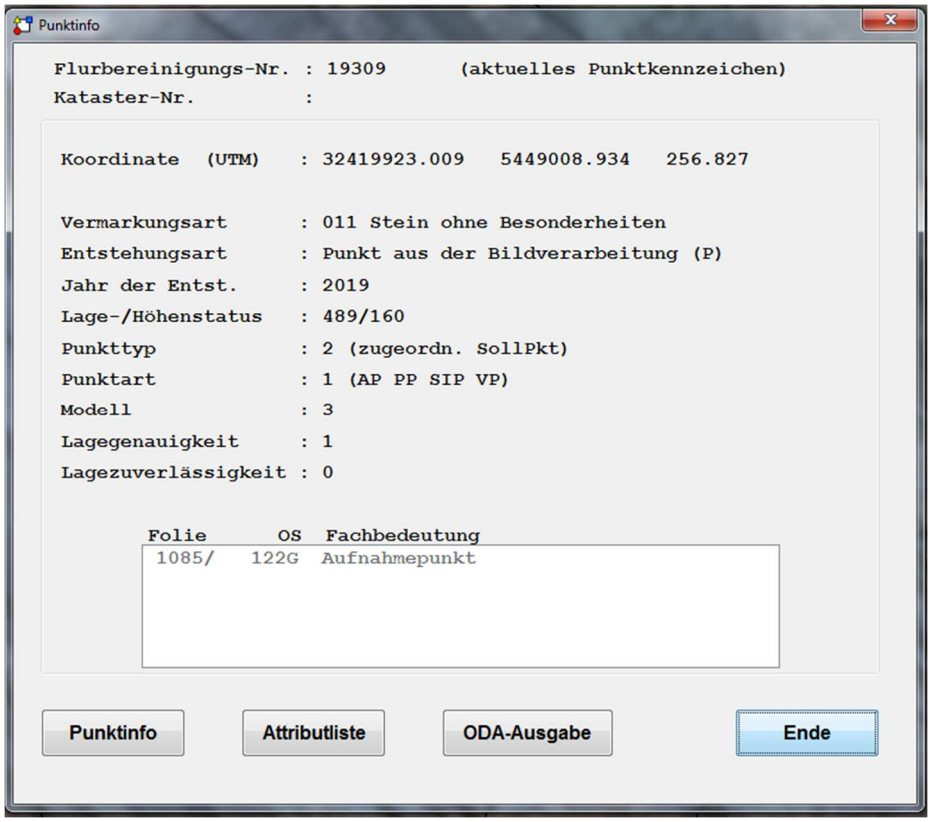


Abb. 5 - 87: AP Bildverarbeitung

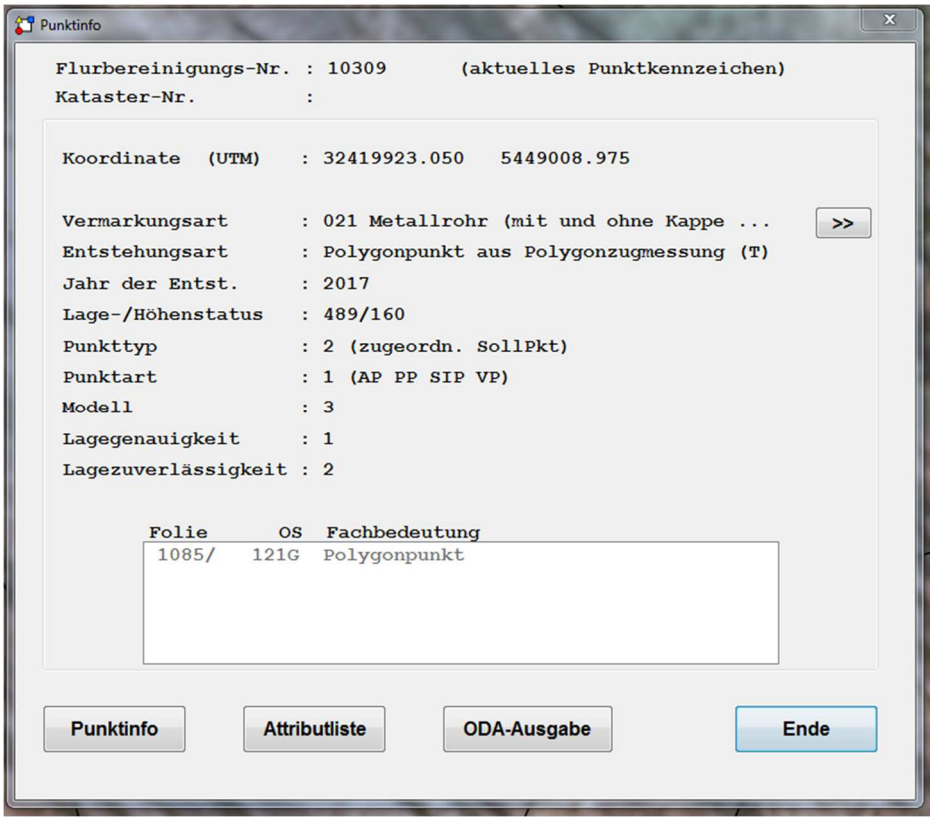


Abb. 5 - 88: AP Polygonzugmessung

Beim Vergleich der drei Messmethoden untereinander ist festzustellen, dass die Koordinaten der GNSS-Messung mit der aus der Bildverarbeitung am besten übereinstimmen. Die Abweichung der beiden Messmethoden liegt im Ostwert bei -1,6 cm und im Nordwert bei 0,8 cm. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Passpunkte bei der Luftbildauswertung mit GNSS bestimmt wurden. Weiter zeigt es, mit welcher hohen Genauigkeit Punkte bei der Luftbildauswertung bestimmt werden können. Beim Vergleich der Polygonzugmessung mit der GNSS-Messung sind die Abweichungen erheblich höher: -5,7 cm im Ostwert und -3,3 cm im Nordwert. Ein ähnliches Ergebnis wird beim Vergleich der Polygonzugmessung mit der Bildverarbeitung erreicht: -4,1 im Ostwert und ebenfalls -4,1 im Nordwert. Eine genaue Analyse woher die Abweichungen stammen ist nicht möglich. Die Anschlusspunkte der Polygonzugmessung können nicht die gleiche Qualität der GNSS und Luftbildmessung besitzen oder beim Messen des Polygonzuges summierten sich die Strecken- und Winkelabweichungen auf der Länge des Polygonzuges immer weiter auf. Die nachfolgende Tabelle zeigt nochmals die einzelnen Abweichungen untereinander.

Tab. 5 - 2: Abweichungen der Messmethoden untereinander

Vergleich	Ostwert	Nordwert
GNSS-Bildverarbeitung	-0,016	0,008
GNSS-Polygonzug	-0,057	-0,033
Bildverarbeitung-Polygonzug	-0,041	-0,041

Beim Vergleich der Messmethoden in puncto Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit liegt die Photogrammetrie vor der GNSS-Messung. Die Auswertung im Stereomodell fand an zwei Tagen statt. Dabei wurden 897 Punkte digitalisiert und es konnten ca. 95% der Wegstrecke bestimmt werden. Die Kosten für eine Befliegung liegen laut [Theisen (2019a)] bei ca. 4-6 Euro pro Hektar je nach Auftragsvolumen. Das Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ hat eine Verfahrensfläche von 195 Hektar. Bei einer Annahme von 6 Euro je Hektar sind das bei der Verfahrensfläche von 195 Hektar 1170 Euro für die Befliegung des Verfahrens.

Die GNSS-Messungen wurden an vier Tagen durchgeführt. In dieser Zeit konnten mit dem GNSS-Gerät der Hochschule 89 Punkte gemessen werden und mit dem GNSS-

Gerät der Technischen Zentralstelle 30 Punkte. Dabei war es an den vier Tagen, aufgrund der Wartezeit bis zur Initialisierung der Messungen, nur möglich kleine Teile der Wege aufzunehmen. Bei einer Annahme von 50 Euro pro Stunden für einen Messtruppführer und einem 8 Stunden Tag, belaufen sich die Kosten der Messungen an den vier Tagen auf 1600 Euro. Um die gesamten Wege mit dem GNSS-Gerät zu bestimmen sind noch mehrere Wochen nötig.

Die Bestimmung der Wegegrenzen im Stereomodell hat gezeigt, dass eine schnelle Punktbestimmung möglich ist. Die Identifizierung der tatsächlichen Grenze im Stereomodell bereitet bei dieser Methode jedoch die größte Schwierigkeit. Eine Signalisierung der Wegegrenze vor der Befliegung erleichtert dabei die Festlegung enorm, ist aber wiederrum sehr zeitaufwendig.

Eine Vermessung der Waldwege mit einem GNSS-Gerät ist grundsätzlich möglich. Problem hierbei ist jedoch der Verlust der Initialisierung durch die Abschattung der Bäume. Das Warten bis zur neuen Initialisierung kostet dabei die meiste Zeit und ist von Punkt zu Punkt unterschiedlich. Eine Messung im Winter vor Laubausbruch sollte die Wartezeit bis zur Initialisierung etwas verkürzen. Daher ist die Verwendung des GNSS-Gerätes zur direkten Bestimmung der Wegegrenzen zu zeitaufwendig. Das GNSS-Gerät sollte weiterhin zur Verdichtung des AP-Netzes eingesetzt werden. Dabei kann auf den neu ausgebauten Wirtschaftswegen eine ausreichende Anzahl an Festpunkten bestimmt werden, um so genügend Anschlusspunkte für eine terrestrische Vermessung der Wege mit einem Tachymeter zu besitzen.

6 Rechnerische Ergänzung nicht messbarer Wegeseiten

Sind bei der Auswertung im 3D-Stereomodell oder beim Messen mit dem GNSS-Gerät Bereiche aufgetreten, in denen die Festlegung der Wegegrenze nicht möglich war, kann anhand von Berechnungen eine Bestimmung der Sollpunkte vorgenommen werden.

Die Bearbeitungssoftware für Bodenordnungsverfahren der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz GRIBS bietet dafür verschiedene Berechnungsarten an. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die Berechnungsarten vorgestellt und die Ergebnisse der Berechnungen aus dem Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ überprüft.

6.1 Berechnungsarten in GRIBS

Wie schon im Kapitel 5.1.2 beschrieben wird das „GRaphische Informations- und BearbeitungsSystem“ (GRIBS) in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz verwendet. GRIBS ist eine spezielle Anwenderschale für fachspezifische Anforderungen der Agrarverwaltung Rheinland-Pfalz. Sie ist auf dem benutzerorientierten Geoinformationssystem Digitalisierung, Aufbereitung und Verbesserung inhomogener Daten (DAVID) des Ingenieurbüros Riemer (ibR) aufgebaut. So beschreibt schon die RiGRIBS [MWVLW (2004)], GRIBS erlaubt die objektorientierte Bearbeitung. Durch Nutzung von Fachdaten aus relationalen Datenbanken, komfortabler graphischer Editierfunktionen, variabler Darstellungsmöglichkeiten sowie integrierter vermessungstechnischer Berechnungen, kann es für vielfältige Aufgaben insbesondere in Vermessung, Kataster, Flurbereinigung, Kartographie und Planung eingesetzt werden.

In der Hauptbearbeitungsstufe „Neuer Bestand“ unter der Funktion „PuDig“ besteht die Möglichkeit, Sollpunkte zu erzeugen. Dort können Punkte durch Digitalisierung oder durch Berechnungsmethoden festgelegt werden. Die Abbildung 6-1 zeigt das Menüfenster der Berechnungsmethoden in GRIBS. Dort kann zuvor ausgewählt werden, welche Punktattribute GRIBS bei der Berechnung des Sollpunktes vergeben soll. Bei der Auswahl „vererben“ werden nach dem Prinzip der Vererbung die Punktattribute des schlechtesten Punktes der Berechnung vererbt. Die zweite Auswahl „Pudig-Punkt“ vergibt dem Sollpunkt die gleichen Punktattribute wie bei der Digitalisierung von Punkten.

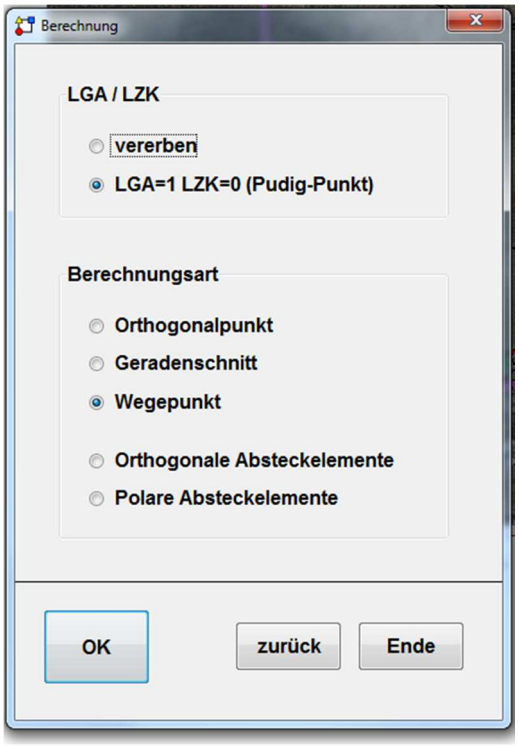


Abb. 6 - 1: Berechnungsarten in GRIBS

Die erste mögliche Berechnungsart ist die Orthogonalpunktberechnung, hierbei handelt es sich um die geodätische Grundberechnungsart bei der unter Angabe einer Ordinate und Abszisse rechtwinklig oder in der Gerade ein neuer Punkt erzeugt wird. Diese Berechnungsmethode kann bei der Berechnung von nicht messbaren Punkten eingesetzt werden. Bei einem fehlenden Punkt auf der gegenüberliegenden Wegeseite kann durch die vor Ort gemessenen Maße mit einem Messband der Punkt berechnet werden. Die Abbildung 6-2 zeigt die Berechnung eines ausgefallenen Punktes der Orthogonal 6,10 Meter vom gegenüberliegenden Punkt berechnet wurde.

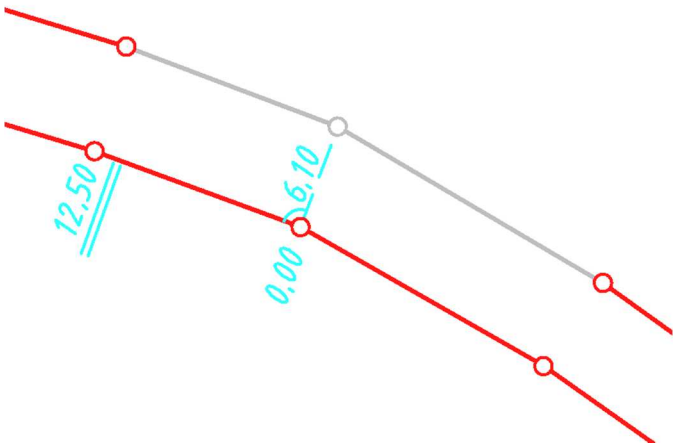


Abb. 6 - 2: Orthogonalpunktberechnung

Bei der Berechnungsart Geradenschnitt besteht die Möglichkeit zwei vorhandene Geraden miteinander zu Verschneiden um einen neuen Punkt zu erzeugen. Dabei können die Geraden um ein Verschiebemaß parallel verschoben oder um einen bestimmten Winkel gedreht werden. Diese Berechnungsmethode ist für eine Berechnung von nicht messbaren Wegepunkten eher ungeeignet. Anwendbar jedoch wenn der ausgefallene Punkt z.B. unter einem Baum liegt und die Richtungen der beiden Grenzen durch einen Punkt vor dem Baum festgelegt werden können. Dann besteht die Möglichkeit durch einen Geradenschnitt den fehlenden Punkt zu berechnen. Die Abbildung 6-3 veranschaulicht die Berechnung eines ausgefallenen Punktes durch die Berechnungsmethode Geradenschnitt.

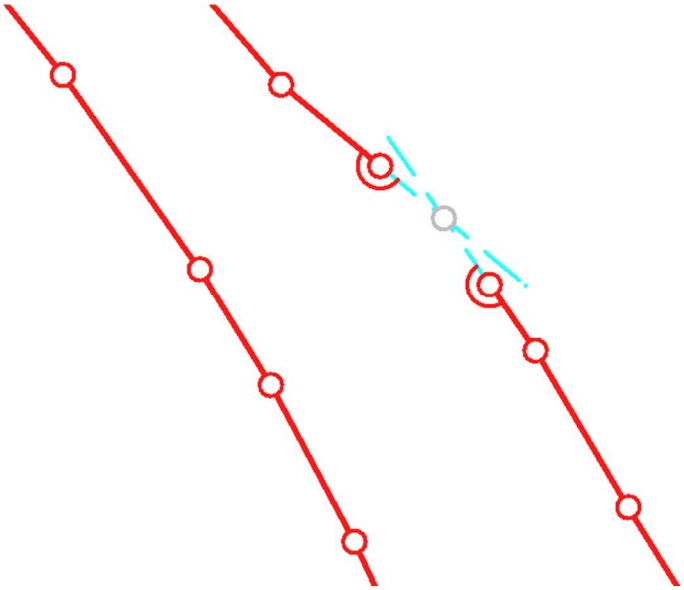


Abb. 6 - 3: Geradenschnitt

Für eine Berechnung der zweiten Wegeseite bietet GRIBS außerdem eine eigene Berechnungsmethode an, wie auf der Abbildung 6-1 zu erkennen, die Wegepunktberechnung. Mit dieser Funktion können ausgefallene Wegeseiten oder Kehren berechnet werden. Dabei stehen vier verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl, um neue Sollpunkte zu bestimmen. Die nachfolgende Abbildung 6-4 zeigt die Auswahl in GRIBS der vier Arten der Wegepunktberechnung. Es kann ein Neupunkt im Winkelraum über Verschiebemaße oder über eine Strecke in der Winkelhalbierenden berechnet werden sowie zwei oder drei Neupunkte im Winkelraum mit Angaben der Kehrenmaße.

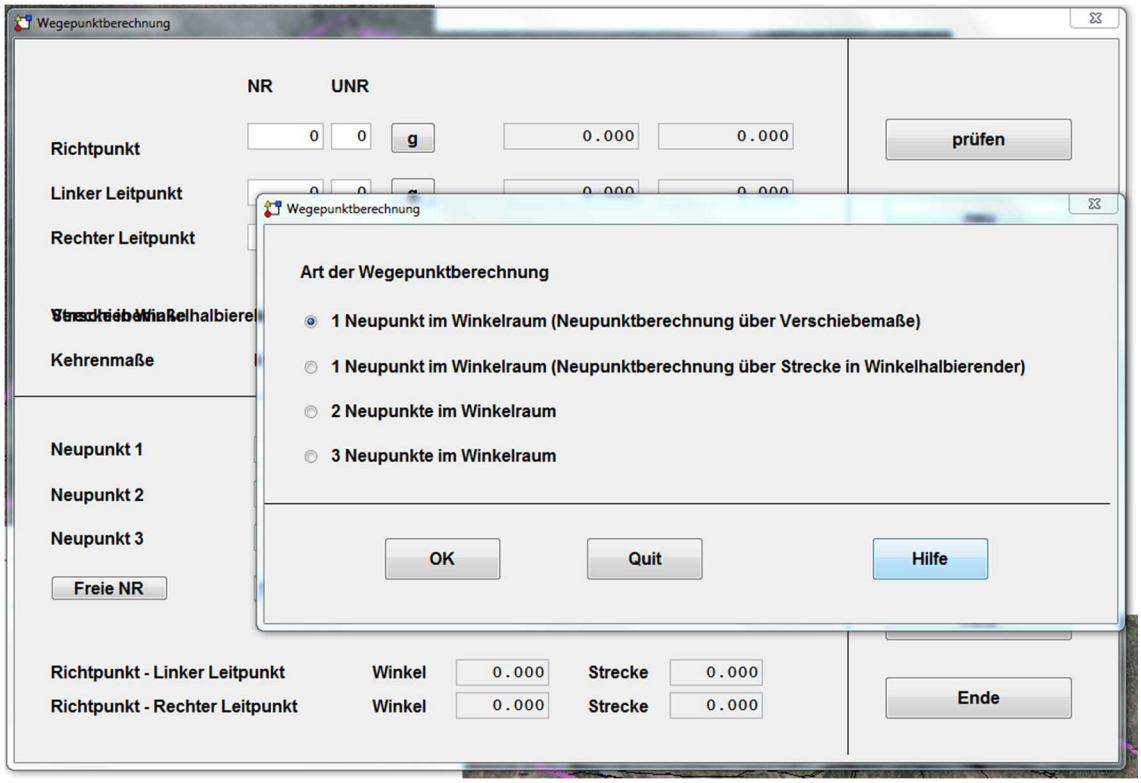


Abb. 6 - 4: Arten der Wegepunktberechnung in GRIBS

Bei allen vier Arten der Wegepunktberechnung müssen immer erst der linke Leitpunkt, der rechte Leitpunkt und der Richtpunkt der vorhandenen Wegeseite eingegeben werden. Beim Richtpunkt handelt es sich um den Punkt, auf dessen gegenüberliegenden Seite der Neupunkt oder die Neupunkte berechnet werden sollen. Der linke und rechte Leitpunkt sind der jeweils vor oder nach dem Richtpunkt liegende Punkt in dem vorhandenen Grenzzug. GRIBS bietet zu jeder Berechnungsart eine Hilfezeichnung an, anhand derer die Funktionsweise erläutert wird. Um bei einem Neupunkt im Winkelraum einen fehlenden Sollpunkt zu berechnen, benötigt es wie zuvor erwähnt den linken Leitpunkt, in der Abbildung 6-5 als (LLP) bezeichnet, den rechten Leitpunkt (RLP) und den Richtpunkt (RP). Damit ist der vorhandene Grenzzug sowie der Bereich an dem der neue Punkt (N) berechnet werden soll definiert. Nun besteht die Möglichkeit anhand zwei verschiedener Arten den Neupunkt zu berechnen. Entweder durch die Eingabe eines Verschiebemaßes links (vl) und eines Verschiebemaßes rechts (vr) oder durch die Angabe einer Strecke in der Winkelhalbierenden (s). Je nachdem welche Werte im Außendienst bestimmt worden sind, kann der Neupunkt berechnet werden. Die Abbildung 6-5 zeigt die Hilfezeichnung für einen Neupunkt im Winkelraum.

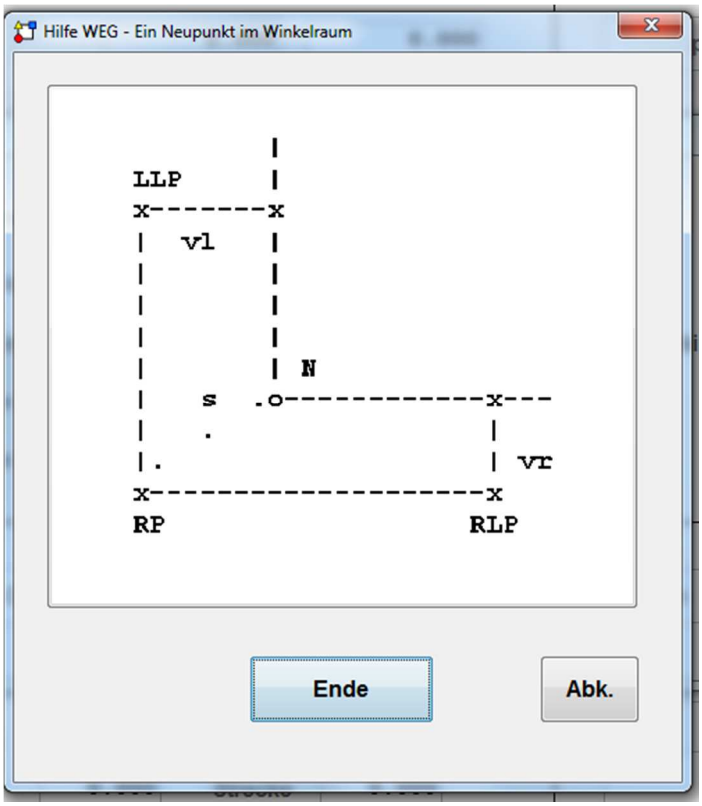
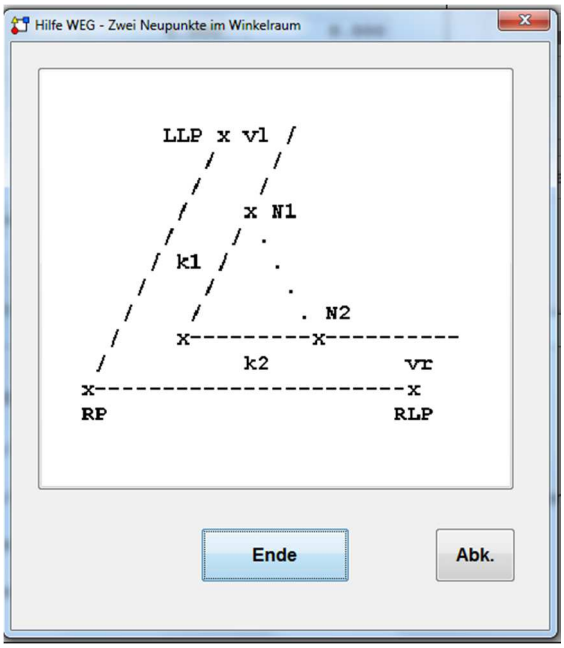


Abb. 6 - 5: Ein Neupunkt im Winkelraum

Die Funktionsweise für zwei oder drei Neupunkte im Winkelraum ist sehr ähnlich der für einen Neupunkt im Winkelraum. Ebenfalls muss zuvor der vorhandene Grenzzug durch die Eingabe des linken Leitpunktes (LLP), des rechten Leitpunktes (RLP) und des Richtpunktes (RP) definiert werden. Anschließend wird wie bei einem Neupunkt im Winkelraum das Verschiebemaß links (vl) und ein Verschiebemaß rechts (vr) eingegeben. Um jetzt jedoch zwei oder drei Neupunkte (N1-N3) im Winkelraum zu erhalten muss die Eingabe der Kehrenmaße (k1-k4) erfolgen. Bei zwei Neupunkten im Winkelraum zwei Kehrenmaße und bei drei Neupunkten im Winkelraum vier Kehrenmaße. Durch die Eingabe der Kehrenmaße berechnet GRIBS zwei oder drei Neupunkte um an dieser Stelle eine Kehre des Weges zu erhalten. Die Abbildungen 6-6 und 6-7 zeigen die Hilfezeichnungen für zwei und drei Neupunkte im Winkelraum.



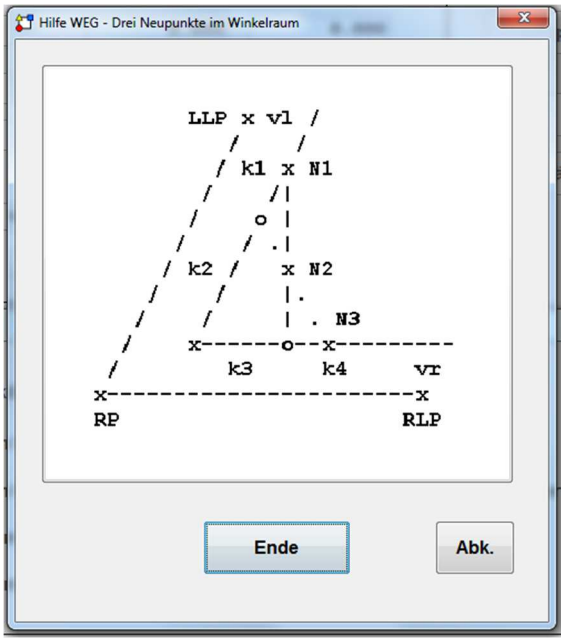


Abb. 6 - 6: Zwei Neupunkte im Winkelraum

Abb. 6 - 7: Drei Neupunkte im Winkelraum

6.2 Ergebnis der Berechnungen

Im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ wurde bei den örtlichen Vermessungen mit dem GNSS-Gerät an drei Stellen Maße und Wegebreiten gemessen, um später im Innendienst die zweite Wegeseite zu berechnen und mit den Ergebnissen der Auswertung im 3D-Stereomodell und der GNSS-Messung zu vergleichen.

Der erste Bereich, an dem Wegebreiten gemessen wurden, war auf dem neuen Erdweg mit der Nummer 113. Das letzte Stück des Weges kurz vor der Verfahrensgrenze konnte bei der Auswertung im 3D-Stereomodell nur auf einer Seite gemessen werden jedoch mit dem GNSS-Gerät auf beiden Seiten. An jedem mit dem GNSS-Gerät gemessenen Standpunkt wurde mit einem Bandmaß die Breite zur anderen Wegeseite gemessen und dokumentiert. Im Innendienst konnte dann anschließend mit der Berechnungsfunktion „Wegepunktberechnung“ die zweite Wegeseite berechnet werden. Auf der nachfolgenden Abbildung 6-8 ist das Ergebnis aus dem 3D-Stereomodell in rot sichtbar, die Messung mit dem GNSS-Gerät in grün und die neu berechnete Wegeseite ist in gelb dargestellt.

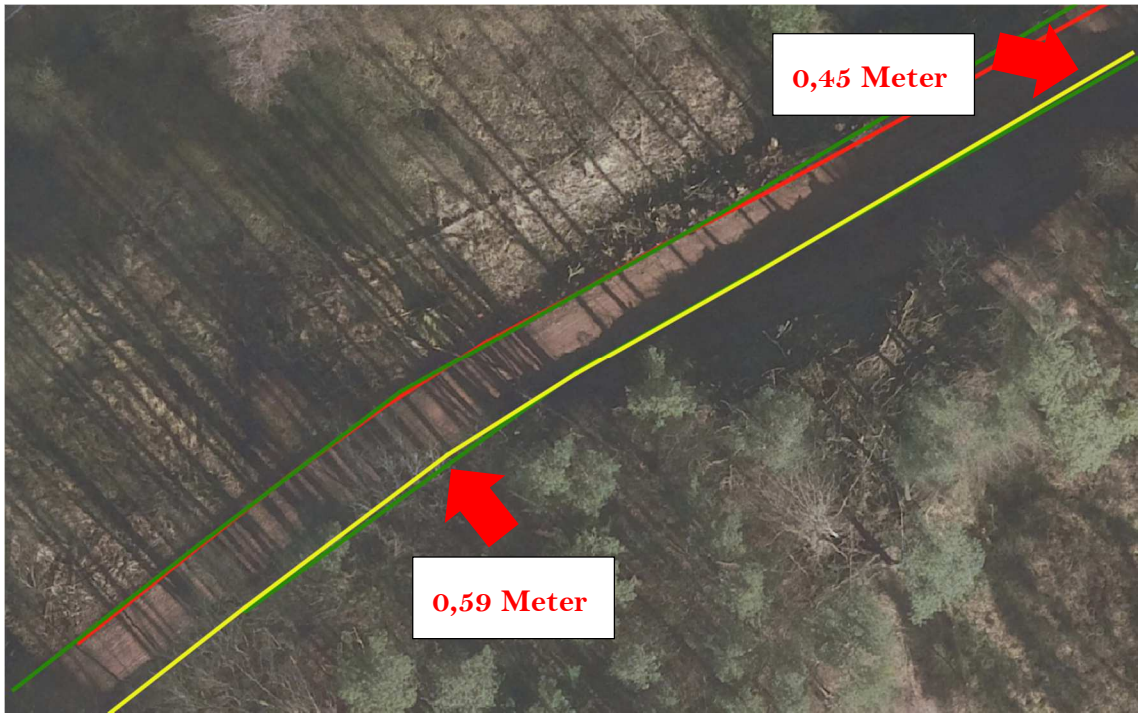


Abb. 6 - 8: Weg 113 Wegepunktberechnung

Auf der Abbildung 6-8 ist zu sehen, dass die Wegegrenzen aus der GNSS-Messung in grün und die der Wegepunktberechnung in gelb auf dem größten Teil der Strecke deckungsgleich sind. An zwei Stellen des untersuchten Bereiches klaffen die Grenzen mit 0,45 Meter und 0,59 Meter auseinander. Dies ist jedoch damit zu erklären, dass es bei der Interpretation der Wegegrenzen immer unterschiedliche Festlegungen der Punkte gibt und wenn sich an einer Stelle die Grenzen ungünstig schneiden, kann es zu solchen Bereichen kommen. Allgemein ist festzuhalten, dass in diesem untersuchten Bereich die Berechnung der zweiten Wegeseite eine ausreichende Genauigkeit liefert.

Der zweite Untersuchungsbericht lag auf dem neuen Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106 im südlichen Teil des Weges. Hier konnte im 3D-Stereomodell sowie auch mit dem GNSS-Gerät eine erfolgreiche Bestimmung der Wegegrenzen vorgenommen werden. Wie zuvor auch wurde an jedem Standpunkt mit dem GNSS-Gerät die Breite bis zur anderen Wegeseite mit einem Messband bestimmt. Im Anschluss konnte mit der Funktion „Wegepunktberechnung“ die Sollpunkte berechnet werden. Die nachfolgende Abbildung 6-9 zeigt den Untersuchungsbereich und die Auswertung aus dem 3D-Stereomodell in rot, die Ergebnisse der GNSS-Messung in blau und die berechnete Wegeseite in gelb.

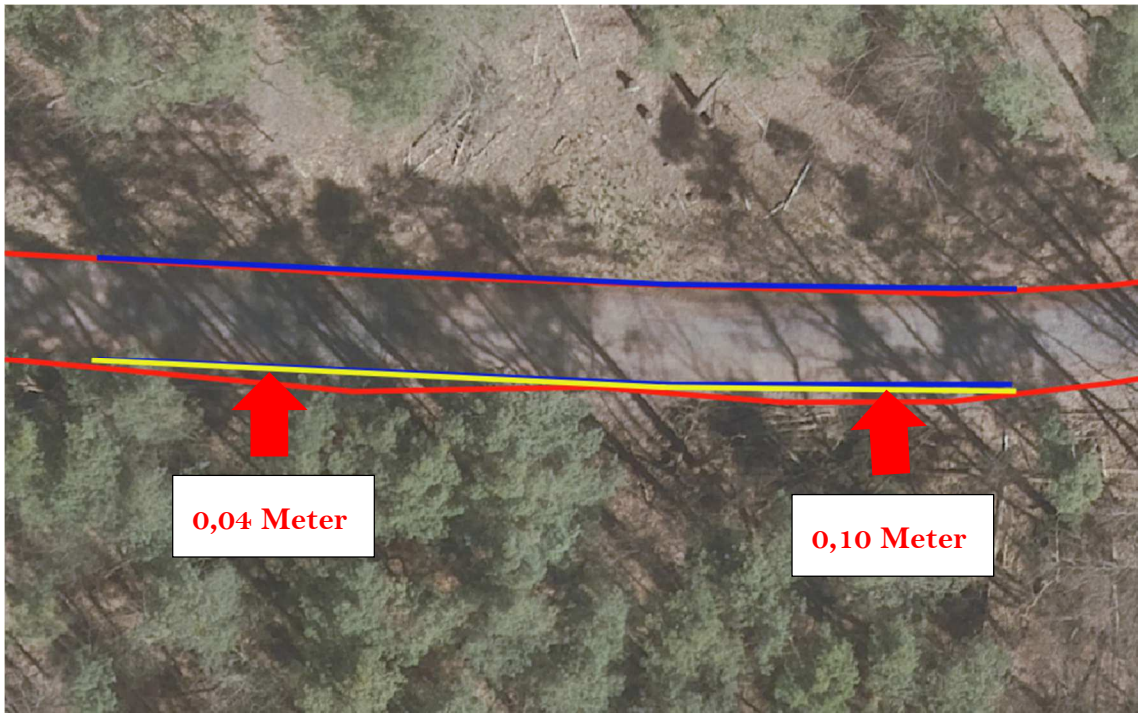


Abb. 6 - 9: Weg 104, 105, 106 Wegepunktberechnung 1/2

Auf der Abbildung 6-9 ist zu erkennen, dass die mit der Wegepunktberechnung erzeugte Wegegrenze in gelb fast identisch mit der Wegegrenze aus der GNSS-Messung in blau ist. 0,04 Meter und 0,10 Meter sind Abweichungen, die aufgrund der unterschiedlichen Interpretation der Wegegrenze auftreten, die jedoch für eine Bestimmung von Waldwegen ausreichend sind. Die Wegegrenze aus dem 3D-Stereomodell in rot weicht in diesem Bereich stärker von der Wegegrenze der GNSS-Messung und der Wegepunktberechnung ab, da bei der Auswertung im 3D-Stereomodell die Böschungsunterkannte als Wegekante falsch interpretiert worden ist und daher die Abweichungen entstanden. Auch dieser Untersuchungsbereich zeigt, dass eine Berechnung der zweiten Wegeseite die Möglichkeit bietet, ausgefallene Punkte durch Berechnung zu bestimmen.

Der dritte Untersuchungsbericht lag ebenfalls auf dem neuen Schotterweg mit der Nummer 104, 105 und 106 ganz im Süden des Weges 100 Meter vor dem Beginn des Ausbaus des Weges. Im 3D-Stereomodell konnte der Weg an dieser Stelle komplett ausgewertet werden, mit dem GNSS-Gerät fiel ein Punkt aus, der nicht messbar war und somit ideal für eine Berechnung ist. Wie bei den beiden Untersuchungsbereichen zuvor wurde an jedem Standpunkt mit dem GNSS-Gerät die Breite zur anderen Wege-

seite mit einem Bandmaß gemessen und anschließend die Punkte mit der Wegepunktberechnung bestimmt. Die nachfolgende Abbildung 6-10 zeigt den Untersuchungsbereich und die Auswertung aus dem 3D-Stereomodell in rot, die Ergebnisse der GNSS-Messung in blau und die berechnete Wegeseite in gelb.

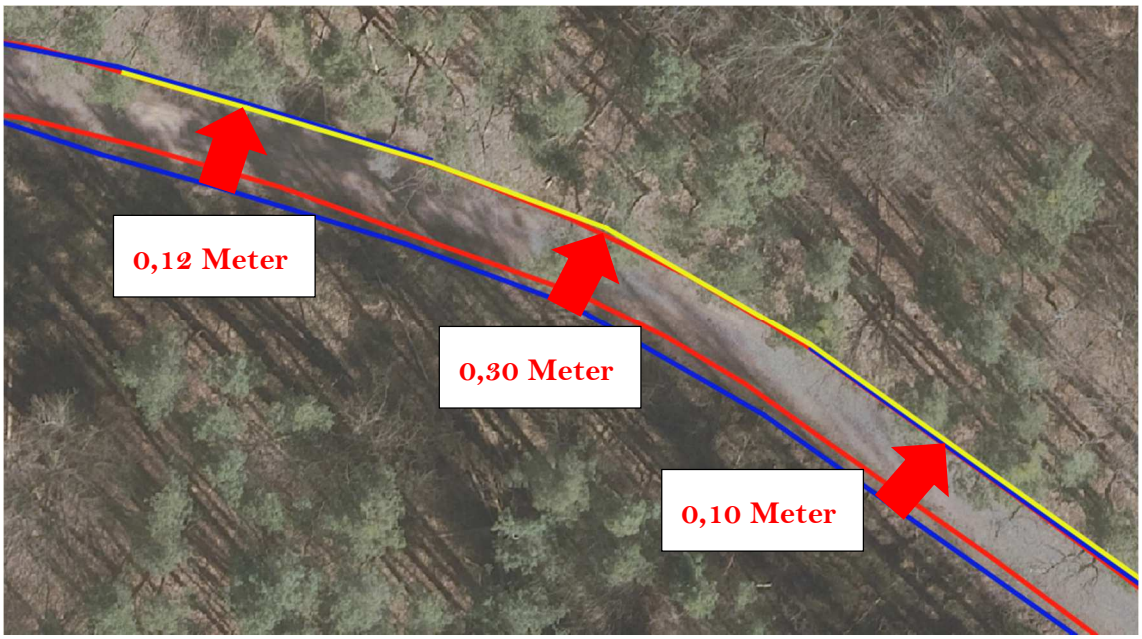


Abb. 6 - 10: Weg 104, 105, 106 Wegepunktberechnung 2/2

Auf der Abbildung 6-10 ist zu erkennen, dass auf der oberen Wegeseite alle drei Bestimmungsarten fast identisch sind. Die Abweichung von 0,12 Meter und 0,10 Meter sind zwischen der GNSS-Messung und der Berechnung der Wegeseite. Diese Abweichungen sind der unterschiedlichen Interpretation der Wegegrenze geschuldet, genauso wie die 0,30 Meter zwischen der 3D-Stereomodell Messung und der berechneten Wegeseite. Hier tritt ebenfalls die ungünstige Überschneidung der beiden Wegegrenzen auf, was diese größere Abweichung erklärt. Der letzte Untersuchungsbereich zeigt ebenfalls wie die beiden vorherigen Bereiche, dass die Berechnung der zweiten Wegeseite einen Ausfall von Punkten bei der Messung kompensieren kann.

7 Mögliche Anwendung in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz

Ist die Befliegung eines Waldflurbereinigungsverfahrens angeordnet, müssen frühzeitig vorbereitenden Maßnahmen durchgeführt werden. Es sollte schon im Winter vor der Befliegung, entweder mit einem Passpunktbestimmer oder mit einem GNSS-Gerät aus dem Pool der Technischen Zentralstelle die neu ausgebauten Wirtschaftswege aufgesucht und auf ihre GNSS Tauglichkeit untersucht werden. Dabei soll geprüft werden, ob es Bereiche gibt in denen eine komplette GNSS-Messung, ohne lange Initialisierungszeiten möglich ist, um die Wege im Anschluss direkt zu vermessen. Durch die Messung im Winter ohne Laubausbruch ist die Abschattung durch die Bäume noch geringer und die GNSS-Messung besser durchzuführen. Des Weiteren ist eine Punktfestlegung vor Ort immer genauer als im Luftbild.

Gibt es Bereiche in denen eine GNSS-Messung möglich ist, aber durch längere Initialisierungszeiten ein direktes Vermessen der Wege unwirtschaftlich macht, sollen anhand des Bewuchses der Bäume die Messbarkeit im 3D-Stereomodell bewertet werden. Bei Unsicherheit sollen Aufnahmepunkte mit dem GNSS-Gerät festgelegt werden, die bei einem Ausfall der Photogrammetrie an dieser Stelle das terrestrische Vermessen mit einem Tachymeter möglich machen.

An Stellen die keine GNSS-Messung zulassen und ebenfalls die Auswertbarkeit im 3D-Stereomodell nicht sicher beurteilt werden kann, sollten nach dem Modell [Baadte (2014)], vgl. Abbildung 7-1, Aufnahmepunkte auf den Wegen signalisiert und durch die Photogrammetrie bestimmt werden um auch dort in Bereichen an denen die Wegegrenze nicht bestimmbar ist, Anschlusspunkte für die terrestrische Vermessung mit dem Tachymeter zu besitzen.

Abb. 7 - 1: Signalisierung von APs [Baadte (2014)]

Des Weiteren besteht die Möglichkeit in kritischen Bereichen der Photogrammetrie, wie zum Beispiel starker Nadelwald, schlechter Kontrast des Weges, Tallage, eine Signalisierung der Wegegrenze vorzunehmen. Wie in Kapitel 5.1.4 beschrieben, steigert die signalisierte Wegegrenze die Sichtbarkeit im Luftbild enorm auch wenn der Aufwand dafür hoch ist.

Durch die Sonneneinstrahlung entstehen auf den Luftbildern Schattenbereiche die eine Auswertung im 3D-Stereomodell erschweren. Hier ist noch zu prüfen ob eine Befliegung bei Hochbewölkung Vorteile bringt oder ob dadurch nicht genügend Licht auf die Erde trifft und somit die Sichtbarkeit ebenfalls nicht gewährleistet ist.

Versagen beide Vermessungsansätze bei der Punktfestlegung, besteht noch die Möglichkeit, wie in Kapitel 6 beschrieben, die ausgefallenen Punkte durch Berechnungsmethoden zu bestimmen.

Bei der Festlegung von Sollpunkten in einer Waldflurbereinigung, sollten somit alle Bestimmungsarten: Photogrammetrie, GNSS-Messung, terrestrischer Ergänzungsmessung und die Berechnung eingesetzt werden. In freien problemlos messbaren Bereichen, kann das GNSS-Gerät zum Einsatz kommen, sodass die weiteren Wegeabschnitte durch die Photogrammetrie bestimmt werden können. Die restlichen Stellen die keines der vorherigen Messmethoden zulassen, können durch die terrestrische Ergänzungsmessung mittel Tachymeter oder durch die Berechnung festgelegt werden.

8 Fazit

Die Verwendung eines GNSS-Gerätes mit dem Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service (HEPS), ist nach dem Ausbau der Wirtschaftswege im Waldflurbereinigungsverfahren „Lug“ möglich. Die durch den Ausbau der Wege entstandene Schneise, ermöglichte in den meisten Fällen eine Genauigkeit im Zentimeterbereich. Der Grad der Freistellung begünstigt dabei die Zeit bis zur Initialisierung der Messung. Jedoch kann die umliegende Topographie das Messergebnis beeinträchtigen oder sogar eine Messung komplett verhindern. Ein immer noch bestehendes Problem ist das Fehlen eines flächendeckenden Mobilfunknetzes. Ohne das Empfangen von Korrekturdaten ist keine Echtzeitmessung mit dem SAPOS-Korrekturdatendienst möglich. Dies sollte sich im Zuge des Netzausbaus in naher Zukunft weiter verbessern.

Die Befliegung nach dem Ausbau der Wirtschaftsweg bringt enorme Vorteile bei der Auswertung im 3D-Stereomodell. Die Trassenfreistellung für den Ausbau, machte zum Großteil eine Bodensicht möglich und somit eine Festlegung der Wegegrenze. Ein guter Kontrast des Weges und eine topographische gute Lage vereinfachen die Auswertung. Jedoch bereitet das Identifizieren der Wegekanten oder der Böschungen die größten Schwierigkeiten und ist oftmals Interpretationssache des Auswerters. Dabei hat gezeigt, dass ein Signalisieren der Wegegrenze vor der Befliegung die Festlegung stark vereinfacht.

Bei der Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit der beiden Messmethoden, liegt die Photogrammetrie an erster Stelle. Im 3D-Stereomodell ist eine schnellere und kostengünstigere Punktfestlegung möglich, im Vergleich dazu bietet die GNSS-Messung eine genauere Punktbestimmung. So konnten im 3D-Stereomodell 897 Punkte in zwei Tagen gemessen und ca. 95% der ausgewählten Wege bestimmt werden. Bei einer Annahme von 6 Euro je Hektar sind das bei der Verfahrensfläche von 195 Hektar, 1170 Euro für die Befliegung des Verfahrens. An vier Tagen konnten mit den GNSS-Geräten 119 Punkte bestimmt werden. Bei einer Annahme von 50 Euro pro Stunden für einen Messtruppführer und einem 8 Stunden Tag, belaufen sich die Kosten der Messungen an den vier Tagen auf 1600 Euro. Dabei waren immer nur kleinere Bereiche der Wege messbar und eine komplette Vermessung hätte mehrere Wochen in Anspruch genommen.

Für die Bestimmung von ausgefallenen Wegeseiten durch rechnerische Ansätze, konnte anhand von drei Untersuchungsbereichen überprüft und festgestellt werden, dass eine

Berechnung der Wegegrenzpunkte im Vergleich zur Photogrammetrie und zur GNSS-Messung eine ausreichende Genauigkeit liefert.

Literaturverzeichnis

AdV Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2019): SAPOS-Dienste im Überblick. *Von https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html abgerufen.*

Baadte, N. (2014): Waldflurbereinigung Thalfröschen. *Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz, NLKV Heft 55*, S. 33-41.

Bald, C. (2010): Untersuchung neuer Vorgehensweisen und Modellvorhaben zur Waldflurbereinigung in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. *Bachelorarbeit an der Fachhochschule Mainz.*

Bottler, K. (2002): Vermessung und Abmarkung in ländlichen Bodenordnungsverfahren. *Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz, NLKV Heft 37*, S. 120-125.

Durben, H. (1988): Einsatz der Photogrammetrie in der Landeskulturverwaltung. *Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz, NLKV Heft 10*, S. 72-74.

Durben, H. (1996): Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig). *Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz, NLKV Heft 25*, S. 81-86.

Durben, H. (2014): Photogrammetrie in der Landentwicklung - Grundlage effizienter Landentwicklungsprozesse. *Technikumbau der Landentwicklung in Deutschland. Schriftenreihe Deutsche Landeskulturgesellschaft – DLKG, Sonderheft 7*, S. 70-79.

Geoplana (2019a): Bildflug. *Von https://www.geoplana.de/assets/images/bildflug.jpg abgerufen.*

Geoplana (2019b): Bildflugprotokoll. *Bildflugprotokoll der Befliegung Lug der Firma Geoplana.*

Geoplana (2019c): Orthophoto Herstellung. *Von https://www.geoplana.de/assets/images/orthophoto-herstellung.jpg abgerufen.*

Harnischfeger, A. (2014a): Die Anwendung der Analyse von klassifizierten Laserscandaten zur Identifizierung von Waldwegen. *Schriftreihe des DVW Band 77/2014*, S. 43-47.

Harnischfeger, A. (2014b): Gemeinsame Waldbewirtschaftung, Waldneuordnung. *Schriftreihe des DVW Band 77/2014*, S. 101-107.

Heitze, U., Malzer, A., Willmes, M. (2016): Einsatz von modernen Technologien in der Flurbereinigung. *Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen Nordrhein-Westfalen NÖV Ausgabe 2/2016*, S. 32-41.

Helle, R. (2018): Einsatz von Laserscanning in der Waldflurbereinigung. *Vortrag bei der DLKG Bundestagung, Bad Berleburg am 26.09.2018.*

Hinz, S. A. (2012): Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung. *Dissertation an der Universität der Bundeswehr München.*

ISM Ministerium des Inneren und für Sport Rheinland-Pfalz (2008): Richtlinien für den Einsatz von SAPOS bei Bestimmung von Aufnahmepunkten (AP). *Richtlinie des ISM vom März 2008.*

König, S. (2018): Innovative Vermessungsverfahren für die Waldflurbereinigung. *Bachelorarbeit an der Hochschule Mainz.*

LGL Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (2019): GNSS Messverfahren. *Von http://www.sapos-bw.de/messverfahren.php abgerufen.*

LVermGeo Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz (2019): SAPOS Stationen. *Von https://lvermgeo.rlp.de/fileadmin/lvermgeo/images/aufgaben/sapos/sapos_stationenkarte.jpg abgerufen.*

MDI Ministerium des Inneren, für Sport und Infrastruktur Rheinland-Pfalz (2012): Richtlinien für das Verfahren bei Liegenschaftsvermessungen in Rheinland-Pfalz. *Richtlinie des MDI vom März 2012.*

MWVLW Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz (2004): RiGribs - Konzept "Graphik" in der Ländlichen Bodenordnung - Einführung der RiGRIBS. *Rundschreiben des MWVLW vom 24.05.2004.*

MWVLW Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz (2009): Waldflurbereinigung in Rheinland-Pfalz. *Rundschreiben des MWVLW vom 09.04.2009.*

MWVLW Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz (2019): Einsatz von GNSS-Geräten – dezentrale Pool-Lösung. *Rundschreiben des MWVLW vom 07.02.2019.*

Nick, W. (2008): Waldflurbereinigung - Neue Ansätze und Vorgehensweisen. *Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz, NLKV Heft 48*, S. 20-24.

Pawig, U. (2009): Neue Strategien der Waldflurbereinigung. *Schriftenreihe Deutsche Landeskulturgesellschaft – DLKG Heft 6 Landeskultur – Motor der Waldentwicklung und Waldnutzung und Natura 2000 – Konflikte und Lösungsansätze?* S. 61-68.

Schlüter, M. (2018): Sensoren für die Luftbildphotogrammetrie. *Skript zur Vorlesung im Modul Photogrammetrische Datenerfassung an der Hochschule Mainz.*

Schmitt, N. (2002): Verzicht auf die vermessungsrechtliche Festsetzung oder Wiederherstellung der Grenze des Flurbereinigungsgebietes, soweit sie zugleich Grenze einer gemeinschaftlichen oder öffentlichen Anlage ist, die zum Flurbereinigungsgebiet gehört. *Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz, NLKV Heft 37*, S. 117-120.

Schumacher, U. (1998): Verzicht auf Abmarkung in Waldgebieten am Beispiel des laufenden Flurbereinigungsverfahrens Schönecken. *Nachrichten aus der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz, NLKV Heft 30*, S. 80-82.

Schumann, M. (2011): Waldflurbereinigung als Voraussetzung für eine klimawirksame Waldbewirtschaftung im Privatwald. *104. DVW-Seminar Klimawandel und Landentwicklung (Powerpoint Präsentation).*

Telekom (2019): Netzabdeckungskarte Lug. *Von https://www.telekom.de/start/netzausbau abgerufen.*

Theisen, M. (2016): Luftbildmessung im Einsatz der Landentwicklung. *Visionen der Landentwicklung Deutschland. Schriftenreihe Deutsche Landeskulturgesellschaft – DLKG, Sonderheft 8*, S. 198-199.

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

Theisen, M. (2019b): Flugstreifen und Bildmitten. *Übersicht nach Auswertung der Luftbilder.*

Vodafone (2019): Netzabdeckungskarte Lug. *Von https://www.vodafone.de/hilfe/netzabdeckung.html abgerufen.*

Zogg, J. (2011): GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten. *User's Guide u-blox AG Schweiz.*

Anhang: Inhalte der DVD

1_Schriftlicher_Teil\	Abbildungen (*.jpg, *.png)
	Aufgabenstellung (*.docx, *.pdf)
	Bachelorarbeit (*.docx, *.pdf)
2_Internetseite\	Startseite (*.html, *.jpg, *.png)
3_Poster\	Abbildungen (*.jpg, *.png)
	Poster (*.pptx, *.pdf)
4_Messdaten\	Messdaten (*.shp, *.dat, *.dxf, *.csv)
Erfassungsbogen	Erfassungsbogen (*.pdf)
Readme	Inhaltsverzeichnis der DVD(*.txt)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit

„Praxisvergleich der Leistungsfähigkeit von ausgewählten Messmethoden nach Ausbau der Wirtschaftswege in einer Waldflurbereinigung“

selbständig ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich habe 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