



Hochschule für Forstwirtschaft
Rottenburg

Hochschule für Angewandte Wissenschaften

BACHELORARBEIT

GNSS-gestütztes, digitales Einlegen von
Rückegassen in einen
Erstdurchforstungsbestand

Eine Machbarkeitsstudie mit der digitalen
Planungssoftware "NetwakeVision"

Florian Krepela
Bonländer Weg 10
72631 Aichtal

Allgemeine Angaben

Verfasser und Wohnadresse:

Florian Krepela
Bonländer Weg 10
D-72631 Aichtal

Studiengang und Vertiefungsrichtung:

Forstwirtschaft, Geographische Informationssysteme (GIS) und
Landschaftsmanagement

Erstprüfer:

Herrn Prof. Dr. Dirk Wolff, Professor an der Hochschule für Forstwirtschaft
Rottenburg (HFR)

Zweitprüfer:

Herrn Dipl.-Ing. (FH) Martin Roth, Revierleiter Forstrevier 6 – Meersburg,
Bodenseekreis

Anschrift der Hochschule:

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
Schadenweilerhof
D-72108 Rottenburg a.N.

Copyright

© 2019

D-72108 Rottenburg a.N.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und
Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne
schriftliche Genehmigung reproduziert oder über elektronische Systeme verbreitet
werden. Die Genehmigung ist bei der HFR einzuholen. Bei gesperrten Arbeiten ist
jegliche Art der Weiterverwendung verboten.

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich beim Erstellen dieser Bachelorarbeit unterstützten und mir zur Seite standen.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Wolff der meine Bachelorarbeit betreute und sich stets Zeit nahm, auf meine Fragen einzugehen.

Bei Herrn Martin Roth bedanke ich mich insbesondere für seinen engagierten Einsatz, seine zahlreichen Ideen und die Unterstützung, die ich durch ihn erfahren habe.

Bei der Firma NetwakeVision und ihrem CEO Marcel Ruff bedanke ich mich für den technischen Support und sein Engagement.

Bei der Firma Gebrüder Dieing GbR – insbesondere bei Manuel Dieing – möchte ich mich für die technische Unterstützung beim Aufschneiden der Rückegassen bedanken.

Bei Martin Schraitle bedanke ich mich für seine Unterstützung, seinen Arbeitseinsatz beim Einmessen der manuellen Rückegassen und die wertvollen Einblicke, die er mir ermöglicht hat.

Bei Steffen Döring und Markus Weber für ihre Ratschläge für die Auswertungen der GNSS-Daten und die Einblicke in das derzeitige Marktangebot an GNSS-Empfängern.

Bei Hans-Jörg Mannes bedanke ich mich für seine Unterstützung, auf die ich mich stets verlassen kann.

Markus Ickert danke ich, stellvertretend für alle Freunde, für die diversen Ratschläge und Korrekturen.

Genderhinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Bachelorarbeit entweder nur die maskuline oder feminine Form eines Begriffes verwendet. Die benutzten Formen beziehen sich dabei ausnahmslos auf weibliche und männliche Personen.

Inhalt

.....	I
Allgemeine Angaben	I
Danksagung	II
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Diagrammverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
Zusammenfassung	1
Abstract	2
1. Einleitung.....	3
2. Zielsetzung	5
2.1 Forschungsleitende Fragen	5
2.2 Hypothesen.....	6
3. Grundlagen und Methodik	7
3.1 Literaturrecherche.....	7
3.2 Experteninterview	8
3.3 Interviewleitfaden	9
3.4 Transkription	10
3.5 Methodik Arbeitsstudie.....	11
4. Theoretische Grundlagen	13
4.1 Technische Grundlagen.....	13
4.1.1 NetwakeVision	13
4.1.2 RoyalGPS	15
4.1.3 Grundlagen GNSS-Positionierung.....	17
4.1.4 Funktionsweise Echtzeitkinematik.....	19
4.1.5 Einschränkungen bei der Verwendung von GNSS-Technologie	19

4.1.6 GNSS unter Waldbedingungen	21
4.1.7 GNSS-Empfänger Modelle am Markt	22
4.1.8 Definition Präzision/Richtigkeit/Genauigkeit	22
4.3 Notwendigkeit einer Feinerschließung	23
4.4 Manuelles Einlegen von Rückegassen	25
4.5 Versuchsfläche	27
4.5.1 Bestand	27
4.5.2 Betriebliche Voraussetzungen.....	28
5. Datenerhebungen.....	29
5.1 Feldversuch	29
5.1.1 Feldversuch manuelles Einmessen.....	30
5.1.2 Feldversuch digitales Einlegen.....	30
5.2 Datenaufnahme Feldversuch	33
5.3 Genauigkeit des Systems	36
5.4 Arbeitsstudie	39
6. Datenauswertung	40
6.1 Auswertung des Feldversuches.....	40
6.2 Auswertung des GNSS-Parcours	42
6.3 Auswertung Arbeitsstudie	44
6.3.1 Anfallende Lohnkosten.....	46
6.3.2 Auswertung der Arbeitsstudie	47
7. Erkenntnisse.....	48
7.1 Auswertung Feldversuch	48
7.2 Auswertung GNSS-Parcours	49
7.3 Mobile Geräte	50
8. Fazit	51
8.1 Bewertung.....	51

8.2 Einflüsse des Versuchsaufbaus	52
8.3 GNSS-Parcours	53
8.4 Literatur.....	53
8.5 Überprüfung der Hypothesen.....	54
8.6 Handlungsvorschlag für die Rückegassenanlage	55
8.7 Möglichkeiten der Verbesserung des GNSS-Systems.....	56
9. Ausblick	57
9.1 Weitere Möglichkeiten der Rückegassenanlage	57
9.2 Verwendung von Digitalen Geländemodellen bei der Planung	58
9.3 Rückegassenplanung mit UAV	60
9.3.1 Definition UAV	60
9.3.2 Verwendung von UAVs bei der Rückegassenanlage.....	60
9.4 Mobiler Einsatz des RoyalGPS-Systems	61
9.5 Flurstücksgenaue Abrechnung	62
9.6 Forstliche Prozesskette.....	62
Literaturverzeichnis	XIV
Anhang.....	XIX
Anhang 1 Interviewleitfaden Einsatzleiter Maschinenbetrieb	XIX
Anhang 2 Transkription des Experteninterviews Einsatzleiter Maschinenbetrieb Schrofel.....	XX
Anhang 3 Interviewleitfaden Maschinist.....	XXIV
Anhang 4 Transkription des Experteninterviews Maschinist	XXVI
Anhang 5 Definition Ablaufabschnitte	XXX
Anhang 5.1 Ablaufabschnitte manuelles Verfahren	XXX
Anhang 5.2 Ablaufabschnitte digitales Verfahren.....	XXXI
Anhang 6 Zeitaufnahmebögen.....	XXXII
Anhang 6.1 Manuelles Einlegen.....	XXXII

Anhang 6.2 Digitales Einlegen	XXXIV
Anhang 7 Luftbilder.....	XXXV
Anhang 8 Abweichungen Rückegassen	XXXVI
Anhang 9 GNSS-Parcours.....	XXXVII
Anhang 10 Technische Daten.....	XXXVIII
Anhang 10.1 Technische Daten RoyalFix	XXXVIII
Anhang 10.2 Technische Daten RoyalBase.....	XXXIX
Eidesstattliche Erklärung.....	XL

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: POI Auswahlmenü (eigene Darstellung).....	14
Abbildung 2: Genauigkeit von RoyalGPS in Abhängigkeit zur Entfernung (Quelle: www.royal-gps.com aufgerufen am 28.11.2018 um 19:15 Uhr).....	15
Abbildung 3: RoyalFix mit Zubehör (links) und RoyalBase (rechts) (Quelle: www.royal-gps.com aufgerufen am 28.11.2018 um 19:15 Uhr).....	16
Abbildung 4: Darstellung der Funktionsweise RoyalGPS (Quelle: http://www.royal-gps.com , aufgerufen am 17.08.2019 um 07:30 Uhr).....	16
Abbildung 5: Fehlereinflüsse bei der Standortbestimmung (Quelle: Resnik und Bill 2018 S.224).....	20
Abbildung 6: Definition (Quelle: http://www.kowoma.de/gps/zusatzerklaerungen/Praezision.html , Stand 20.06.2019)	22
Abbildung 7: Versuchsfläche ca. viereinhalb Jahre nach Sturmwurf (Foto: Nowak 18.08.2004).....	23
Abbildung 8: Skizze Einfluchten (eigene Darstellung)	26
Abbildung 9: Tiger 20 (eigene Darstellung)	29
Abbildung 10: Eingegrenzte Versuchsfläche und digital angelegte Rückegassen (eigene Darstellung)	30
Abbildung 11: Anbringung RoyalFix an Kabinendach (eigene Darstellung)	31
Abbildung 12: Anbringung Tablet in Kabine (eigene Darstellung)	31
Abbildung 13: Vorgabe Rückegassen (eigene Darstellung)	32
Abbildung 14: Kontrollpunkte (eigene Darstellung)	33
Abbildung 15: Rückegassenverläufe (eigene Darstellung).....	33
Abbildung 16: Rückegassenverlauf mit Zwangspunkten (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 17: Kranzone 15 m (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 18: GNSS-Parcours der HFR, Messpunkte 1 bis 17 mit Testergebnissen (eigene Darstellung)	37
Abbildung 19: Detailansicht Festpunkte 3 und 4 - GNSS-Parcours (eigene Darstellung; Hintergrundkarte: ESRI Basemaps)	38
Abbildung 20: Zeichenerklärung Diagramm 3 (eigene Darstellung)	41
Abbildung 21: Beispiel Borkenkäfermanagement (Bild: M. Roth).....	51
Abbildung 22: Markierte Zwangspunkte (eigene Darstellung)	55

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Vergleich der Abweichungen zur Ideallinie (eigene Darstellung)	34
Diagramm 2: Messergebnisse GNSS-Parcours (eigene Darstellung)	38
Diagramm 3: Abweichungen von der Ideallinie (eigene Darstellung)	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einfaktorielle Varianzanalyse (eigene Darstellung).....	43
Tabelle 2: Zeiten manuelles Einlegen (eigene Darstellung)	44
Tabelle 3: Zusammenfassung manuelles Einlegen (eigene Darstellung).....	44
Tabelle 4: Zeiten digitales Einlegen (eigene Darstellung)	45
Tabelle 5: Zusammenfassung digitales Einlegen (eigene Darstellung).....	45

Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Beschreibung
ALS	Airborne Laserscanning
ArcGIS	Oberbegriff für diverse Geoinformationssystem-Softwareprodukte des Unternehmens ESRI
AZ	Arbeitszeit
Baseline	Abstand des RoyalFix Rovers von der Basisstation
Basisstation	Exakt eingemessene Referenzstation welche sekundlich RTCM 3.2 Korrekturdaten sendet
BeiDou/BDS	Pinyin Běidǒu, Chinesisches GNSS-System
BKN 6/8	„broken“, stark bewölkt, 6 Achtel Okta, Abk. gem. Flugwetterdienst
Bluetooth	Datenübertragung zwischen Geräten
CEP	Circular Error Probe Radius mit 50% Treffer Wahrscheinlichkeit. Angabe bei einer Baseline von max. 10km bei Optimalbedingungen (Satellitenkonstellation, freie Himmelsicht, kein Multipath, Breitengrad etc.). 24 hours static, -130 dBm, > 6 SVs
DGM	Digitales Geländemodell
ha	Hektar
FIX-RTK	Höchstmögliche Genauigkeit durch RTK-Korrektur
FLOAT-RTK	Erste Verbesserung der Genauigkeit durch RTK Korrektur

FSC®	Forest Stewardship Council
GAZ	Gesamtarbeitszeit
GIS	Geographisches Informationssystem
GLONASS	Russische Navigationssatelliten (Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema)
GNSS	Global Navigation Satellite System. Korrekter Oberbegriff für Satellitennavigation
GPS	Global Positioning System. Umgangssprachlicher Begriff für Satellitennavigation. Bezieht sich auf die US Datenübertragung zwischen Geräten Satelliten
HACC	Horizontal Accuracy / Geschätzte Präzision der Ortsangabe Geschätzte Genauigkeit der Positionsbestimmung in Metern
HFR	Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision Qualität der aktuellen Satellitenkonstellation, kleine Werte sind besser. Werte < 1.0 sind sehr gut, 0.4 ist exzellent
INS	Inertial Navigation System
LAT/LON	Latitude und Longitude. Längengrad und Breitengrad in WGS84 im Dezimalsystem. Die siebte Kommastelle des Breitengrades entsprechen 1,1cm Distanz
lfm	Laufender Meter
LIDAR	Light Detection And Ranging/Laser Detection And Ranging

Ntrip	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OVC 8/8	„overcast“, dicke, geschlossene Wolkendecke, 8 Achtel Okta, Abk. gem. Flugwetterdienst
OBSC 9/8	„obscured“, Himmel nicht sichtbar, 9 Achtel Okta, Abk. gem. Flugwetterdienst
POI	Point of Interest
RAZ	Reine Arbeitszeit
Rover	„Wanderer“ RoyalFix RTK GNSS-Gerät
RoyalGPS	GNSS-System
RoyalBase	Basisstation des RoyalGPS-Systems
RoyalFix	RTK GNSS-Empfänger des RoyalGPS-Systems, (siehe Rover)
RTCM 3.2	Radio Technical Commission for Maritime Services RTK Korrekturdaten-Standard in der Version 3.2
RTK	Real Time Kinematik Echtzeitkinematik (CPGPS) Phasenkorrigierte Position mit Hilfe von RTCM Korrekturdaten einer Basisstation
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
VACC	Vertical Accuracy / Geschätzte Präzision der Höhenangabe über Ellipsoid
WET	Waldentwicklungstyp

Zusammenfassung

Die Effizienz der Feinerschließung ist ausschlaggebend für eine ökonomische und ökologische Bewirtschaftung der Wälder unter Beachtung des Nachhaltigkeitsprinzips. Speziell in Zeiten, in welchen der Mechanisierungsgrad der Holzernte weiter ansteigt und das Konzept der dauerwaldartigen Bewirtschaftung eine häufigere Nutzung des Rückegassennetzes erfordert, ist es nötig, bei der Anlage derselben möglichst sorgfältig vorzugehen. Fehler bei der Planung können zu einer Über- oder Unterschließung führen. Diese wirken sich beide in unterschiedlicher Form negativ auf den erschlossenen Bestand aus.

Die bisherige Methode, Rückegassen einzulegen ist aufwendig und je nach Art des Bestandes eine Herausforderung für die damit betrauten Personen. Oft ist eine gewünschte Linienführung nur durch mehrmaligen Ansatz zu bewerkstelligen. Dieses Verfahren zu ersetzen oder zu erleichtern, war schon öfters Bestandteil von Untersuchungen und Überlegungen. Im Offenland werden schon länger GNSS-Systeme zur präzisen Navigation von landwirtschaftlichen Maschinen oder Straßenbaugeräten genutzt. Der Versuch, die Neuanlage von Rückegassen mit Hilfe digitaler Planungssoftware, unterstützt durch hochpräzise GNSS-Systeme einzulegen, ist jedoch noch nicht durchgeführt worden. Meist waren Zweifel an der Qualität der durch GNSS-Systeme unter forstlichen Bedingungen ermittelten Positionsdaten ausschlaggebend, diese Art der Problemlösung nicht in Erwägung zu ziehen.

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob die Ergebnisse einer digitalen Methode ausreichend präzise sind, um die bisherige Methode des Einlegens zu ersetzen. Dazu wurde in einem vergleichenden Feldversuch ein komplett digitales, GNSS-gestütztes Verfahren für die Neuanlage von Rückegassen sowie ein manuelles Verfahren durchgeführt. Hierbei wurden auf einer Versuchsfläche zunächst vier Rückegassen auf die herkömmliche Weise und vier weitere Rückegassen digital eingelegt. Anschließend schnitt ein Harvester alle Rückegassen auf. Die Ergebnisse beider Verfahren wurden miteinander verglichen. Um die Wiederholungsgenauigkeit der Positionsdaten des im Feldversuch verwendeten GNSS-Systems zu überprüfen, wurde zusätzlich ein Versuch auf dem GNSS-Parcours der HFR Rottenburg durchgeführt. Aus den Ergebnissen dieses Versuchs können zukünftige Nutzer dieses GNSS-Systems auf die zu erwartende Genauigkeit unter forstlichen Bedingungen schließen und entscheiden, ob diese ihren Anforderungen genügt.

Abstract

The efficiency of skid trail systems is essential for the economic and ecological management of forests while respecting the principle of sustainability. Especially in times when the degree of mechanized timber harvesting continues to increase and the concept of continuous cover forests requires more frequent use of the skid trail system, it is necessary to proceed as precisely as possible while planning and implementing those. Errors in the planning can result in either over- or underdevelopment of forest stands. Both of which have negative impacts on the developed forest stands.

The previous method of laying out skid trails is complex and, depending on the nature of the stand, a challenge for the persons entrusted with the task. Often the desired alignment can only be accomplished by repeated attempts. Considerable investigation and deliberation has gone in replacing this method. In the open country, GNSS systems have been used for a long time to precisely navigate agricultural machinery or road construction equipment. An attempt to create new skid trails using digital planning software, supported by high-precision GNSS systems has not been made yet. Doubts about the quality of positional data calculated by GNSS systems under forest conditions, have been the main reason why this problem has not been solved with this type of technique. The objective of this thesis was to investigate whether the results of a digital method are sufficiently precise to replace the previous method of inserting skid trails.

Therefore, a fully digital GNSS-based procedure for the creation of skid trails as well as a manual procedure were carried out in a comparative field test. First, four skid trails were created digitally, and four further skid trails were surveyed and marked on a homogeneous test area. Then a forest harvester cut open all the skid trails. The results of both methods were compared.

In order to check the repeatability of the position data provided by the GNSS system which was used in the field test provides, an additional test was carried out on the GNSS course of the HFR Rottenburg. Using the results of this experiment, future users of this GNSS system can assess the expected accuracy under forest conditions and decide whether this meets their requirements.

1. Einleitung

Zu den Aufgaben eines Revierleiters gehören unter anderem die Planung und Dokumentation der Feinerschließung. Die Praxis hat gezeigt, dass viele Aufzeichnungen über die bestehende Feinerschließung im Laufe der Zeit verloren gehen und oft unbrauchbar waren. Sie waren oft nicht ausreichend dokumentiert und maßstäblich ungenau. Zudem gehen im Gelände sichtbare Nachweise über die Feinerschließung durch Sturmereignisse oder Erosion unter, welche es unmöglich machen, die alten Rückegassen wieder aufzufinden.

Daraus folgt, dass jährlich eine erhebliche Anzahl von Rückegassen neu angelegt werden müssen und so eine unnötig hohe Befahrungsdichte entsteht. Bisher geschieht dies sehr zeit- und personalaufwendig und die Dokumentation erfolgt auf nicht zufriedenstellende Art und Weise. Noch in den 1984 veröffentlichten Richtlinien zur Walderschließung steht ausdrücklich, dass Rückegassen aufgrund ihres temporären Charakters nicht kartenmäßig festgelegt werden sollen (vgl. MLR BW 1984). Die Entwicklungen ab 1999 führten deshalb dazu, dass die Rückegassen dauerhaft genutzt werden. Dazu ist laut der Feinerschließungsrichtlinie BW von 2003 eine langfristige Dokumentation in ausreichender Art und Weise notwendig. (vgl. MLR BW 2003, S. 3). Um einen Informationsverlust zu vermeiden bietet es sich an, die Daten auf sicherere Art und Weise festzuhalten (vgl. Landesforsten Rheinland-Pfalz 2019, S. 19). Hierzu wäre eine digitale Speicherung und im besten Falle eine Cloud-Lösung geeignet. So können Daten über das Feinerschließungsnetz ohne Aufwand gelagert oder weitergegeben werden. Gemäß Prof. Dr. h.c. Gero Becker (Becker 2015, S. 25f) besteht weiterhin ein Problem bei der Weitergabe der Daten und der Frage der Schnittstellen, da derzeit verschiedene Systeme in der Praxis genutzt werden. Weiterhin liegen die Nutzungsrechte der erhobenen Daten bei verschiedenen Nutzern. Mit der Fragestellung der Digitalisierung im forstlichen Umfeld beschäftigt sich eine Forschungsgruppe an der Hochschule für Forstwirtschaft in Rottenburg.

Laut Becker ist ungefähr seit dem Jahr 2014 die Rede von dem Begriff Industrie 4.0, der eine neue Stufe der industriellen Entwicklung beschreibt. Unter anderem steht dieser Begriff für das Zusammenwachsen verschiedener Industrien. Die Fertigung soll intelligent und vernetzt werden. Diese Entwicklung scheint in der Forstwirtschaft nicht angekommen zu sein. Aufgrund ihrer Ausgangsposition, der unterschiedlichen Zielsetzungen, Interessenlagen und Geschäftsmodelle sowie der sehr unterschiedlichen

Waldbesitzerstrukturen erscheint eine flächendeckende Vernetzung kaum möglich zu sein. Nicht von der Hand zu weisen ist, dass es in der Forstwirtschaft zahlreiche Daten gibt, deren Vernetzung Sinn macht. Deren zeitliche Gültigkeit ist relativ stabil und sie sind räumlich dauerhaft lokalisiert. So seien beispielsweise Flächen, Gelände-, Standort- und Bestandesdaten und die Walderschließung nur langfristigen Veränderungen unterlegen (Becker 2015, S. 25f).

Es ist naheliegend, dass technische Einzellösungen aus andern Wirtschaftsbereichen auch in die Forstwirtschaft einfließen sollten und mit geringfügigen Anpassungen in die betrieblichen Abläufe integriert werden können. Sind geeignete Lösungen gefunden, kann begonnen werden, einzelne Akteure zu vernetzen, vorhandene Daten zu integrieren und neue Daten zu erfassen. Die Erfassung von Rückegassen bietet sich hier an, da eine genaue Verortung dieser den meisten Akteuren in der forstlichen Prozesskette zugutekommt.

Die Problematik bei der Ungenauigkeit der Erfassung und Wiederauffindung bleibt jedoch erhalten.

Die Entscheidung, einen Versuch mit NetwakeVision durchzuführen, entstand durch Bertreiben von Revierleiter Martin Roth, der durch seine Tätigkeit als Baumkontrolleur für ein Straßenbauamt mit der Planungssoftware und dem dazugehörigen GNSS-Empfänger RoyalFix in Berührung gekommen war. Im Zuge dessen erkannte er das Potential für den Einsatz im forstlichen Umfeld. Ausschlaggebend für diese Annahme waren zum einen das GNSS-System RoyalGPS und die Möglichkeiten, welche die Planungssoftware von NetwakeVision bietet sowie die Möglichkeit, mit der App Rückegassen automatisch zu kreieren.

Bei NetwakeVision handelt es sich um ein offenes Webportal, das mobile Datenerfassung mit handelsüblichen Smartphones oder professionellen Trackern ermöglicht.

2. Zielsetzung

Im Zuge dieser Arbeit soll geklärt werden, ob die Methode, Rückegassen digital mit NetwakeVision einzulegen mit der konventionellen Methode qualitativ vergleichbar ist und ob eine digitale Lösung eventuell Zeit- und Kostenersparnis sowie wirtschaftliche Vorteile (Fortschritt und Effizienz) mit sich bringt. Fortschritte in diesem Feld wären ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer modernen Forstwirtschaft.

Ziel ist es die Praxistauglichkeit zu überprüfen und mögliche Schwächen des Systems NetwakeVision aufzudecken. Hauptmerkmal für die Praxistauglichkeit ist die ausreichende Qualität und die Reproduzierbarkeit und die Sicherung der mit dieser Art der GNSS-Technologie ermittelten Positionsdaten.

2.1 Forschungsleitende Fragen

1. Ist dieses System für den Einsatz in der Forstwirtschaft geeignet?
2. Lassen sich dadurch Zeit, Personal und damit auch Kosten einsparen?
3. Weichen die Ergebnisse in ihrer Qualität bei den aufgeschnittenen Rückegassen voneinander ab?
4. Wie ist die Wiederholungs-Genauigkeit der vom RoyalFix erhobenen Positionsdaten einzuschätzen?
5. Entspricht das System den Erwartungen in der Forstwirtschaft?

2.2 Hypothesen

1.
 - a) Das System ist im Außeneinsatz problemlos bei jeder Witterung einsetzbar.
 - b) Das System erfordert keine besondere Ausbildung.
 - c) Das System ist handlich.

2.
 - a) Durch den Einsatz von digitalen Planungssystemen wird für alle Beteiligten beim Einlegen von Rückegassen erheblich Zeit eingespart gegenüber der bisher angewandten Methode.

 - b) Die Arbeit kann von einer Person durchgeführt werden, welche nicht auf der Fläche sein muss.

 - c) Durch den Einsatz digitaler Planungssysteme lassen sich Kosten einsparen.

3.
 - a) Die Ergebnisse sind für die Anlage von Rückegassen ausreichend.

4.
 - a) RoyalFix liefert ausreichend genaue Positionsdaten bei Folgemessungen.

5.
 - a) Auch andere Anwendungsbereiche in der Forstwirtschaft können durch dieses System abgedeckt werden.

3. Grundlagen und Methodik

In diesem Kapitel werden die angewendeten Forschungsmethoden wie Literaturrecherche, Experteninterviews und die Arbeitsstudie erläutert. Diese werden in dieser Arbeit genutzt, um den aktuellen Stand der Wissenschaft, Erfahrungen und gängige Arbeitsmethoden aus der Praxis festzustellen. Diese Methoden wurden auch bei der Auswertung genutzt.

3.1 Literaturrecherche

Mit einer Literaturrecherche wird ein Überblick über den aktuellen Stand der veröffentlichten Wissenschaft erstellt (vgl. Gläser und Laudel 2010, S.74ff). Zunächst wird in der Bibliothek der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (HFR) nach Fachbüchern gesucht, um die Problemstellung darzustellen. Parallel dazu wird in Fachzeitschriften über den Stand der Digitalisierung in der Forstwirtschaft recherchiert. Eine Onlinerecherche soll zur Ergänzung der Kenntnisse aus Fachbüchern und Fachzeitschriften beitragen, um aktuellste Informationen zu erlangen, soweit diese von fachlich relevanten Quellen stammen. Die Onlinerecherche wurde parallel zur Literaturrecherche durchgeführt, um unter Verwendung verschiedener Online-datenbanken weitere Quellen zu ermitteln sowie mit Hilfe von Suchmaschinen aktuelle Trends in der Branche aufzudecken.

Außer dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sollen durch die Richtlinie zur Feinerschließung BW (2003) erforderliche Anforderungen überprüft, Grundlagen aus der Vermessungskunde festgestellt und die Funktionsweise der verwendeten technischen Geräte erlernt werden.

3.2 Experteninterview

Zusätzlich zur Literaturrecherche werden Experteninterviews geführt. Sie sind eine gängige Methode der empirischen Sozialforschung und bieten die Möglichkeit, aktuelle Informationen aus der Praxis zu erhalten. Sie sind eine spezielle Form der Leitfadeninterviews (vgl. Mayer 2013, S. 38) und kommen oft dann zum Einsatz, wenn es um die Analyse von Problemstellungen einer kleinen Anzahl von repräsentativen Individuen geht (vgl. Schnell et al. 2011, S. 179f), wobei verbale Daten in der qualitativen Forschung erhoben werden (vgl. Flick 1999, S. 144; Mayer 2013). Das trifft für die Fragestellung dieser Arbeit zu, da sich nur wenige Akteure damit konfrontiert sehen. Experteninterviews sind ein Erhebungsverfahren der qualitativen Analyse und ein geeignetes Mittel, um Zusammenhänge zu Hypothesen zu verallgemeinern und bisher vorhandene Theorien zu überprüfen (vgl. Mayer 2013, S. 24). So können Interpretationen und Informationen der Befragten über Prozesse und den dazugehörigen Kontext in Erfahrung gebracht werden (vgl. Folz et al. 2015, S.71).

Die Experteninterviews in dieser Arbeit werden offen und halbstrukturiert geführt, um den Befragten frei zu Wort kommen zu lassen. Vorteil hierbei ist, dass die Befragten ihre Perspektive, Erfahrungen und Ansichten subjektiv darstellen können und nicht durch suggestive Fragestellungen beeinflusst werden. Der sprachliche Zugang zu einer Fragestellung wird genutzt, um eine Vertrauensbeziehung zwischen Interviewer und Befragten herzustellen. Dennoch sind Experteninterviews auf eine dem Befragten vorher dargelegte Problemstellung ausgerichtet (vgl. Mayring 2002, S.67-72). Nach Möglichkeit sind qualitative Erhebungsmethoden, wie ein Experteninterview in einem der Fragestellung thematisch nahen Rahmen durchzuführen, da dies die Güte der Informationen deutlich erhöht (vgl. Mayring 2002, S. 146). Dies konnte im Falle des Interviews mit dem Maschinisten durch eine direkte Befragung nach erfolgter Arbeit noch auf der Versuchsfläche erreicht werden.

Experten sind als repräsentativ für eine Gruppe einzustufen (vgl. Mayer 2013, S. 38), weil sie aufgrund ihrer Funktion oder ihres Berufes Spezialwissen zu einem Thema haben (vgl. Folz et al. 2015, 71f). Sie verfügen auf einem begrenzten Gebiet über Kenntnisse und können diese abrufen. Sie sind meist nicht in den oberen Ebenen von Organisationen zu finden, sondern zwei oder drei Ebenen darunter (vgl. Mayer 2013, S. 38, S. 41f). Um dem Rechnung zu tragen, wurde ein Einsatzleiter des Maschinen-

betriebs Schrofel (Baiersbronn) befragt (siehe Anhang 2) , der über langjährige Berufserfahrung verfügt und aufgrund seiner Tätigkeit landesweit mit der Problemstellung konfrontiert ist. Des Weiteren verfügt er über viel Erfahrung darüber wie andere Personen das Problem wahrnehmen. Der befragte Maschinist, Manuel Dieing (siehe Anhang 4), ist seit acht Jahren als Harvesterfahrer tätig und hatte in dieser Zeit die Gelegenheit, die Vor- und Nachteile des bisherigen Arbeitsverfahrens kennenzulernen.

Der Interviewer analysiert in der Vorbereitung die Problemstellung im Voraus und kommt im Gesprächsverlauf immer wieder darauf zurück. Um selbst nicht vom Thema abzuweichen, erstellt der Interviewer einen Interviewleitfaden (vgl. Mayring 2002, S. 70). Die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung erfolgt in Anlehnung an die Ausführungen von J. Gläser und G. Laudel (vgl. Gläser und Laudel 2010). Die Experteninterviews werden, nach Einholen des Einverständnisses der Interviewten, digital aufgezeichnet.

3.3 Interviewleitfaden

Ein Interviewleitfaden ermöglicht es dem Interviewer, sich während des Gesprächs zu orientieren. Die Fragen werden in Themenblöcke eingeteilt, innerhalb welcher eine weitere Gliederung in Haupt- und Nebenfragen erfolgt. Dadurch wird sichergestellt, dass der Interviewer im Gespräch zu keinem Zeitpunkt von seinem roten Faden abweicht. Die Fragen werden offen formuliert, so dass der Befragte frei antworten kann (vgl. Mayer 2013, S.37, S.43 -46). Die Fragen werden in einer strategischen Vorüberlegung und Planung formuliert (vgl. Gläser und Laudel 2010, S. 61ff) und die Problemstellung vorher analysiert. Wichtige Aspekte werden herausgearbeitet und in einem Interviewleitfaden festgehalten, um sie im Gesprächsverlauf ansprechen zu können. Sollten im Gesprächsverlauf Aspekte auftauchen, die nicht im Leitfaden vorhanden sind und diese für das Thema oder den Gesprächsverlauf wichtig sein, so bleibt dem Interviewer die Möglichkeit Fragen zu stellen, die nicht im Leitfaden stehen und für das Thema oder den Gesprächsverlauf wichtig beziehungsweise interessant sein könnten (vgl. Mayring 2002, S.66-70).

Im Falle des Interviews mit dem Einsatzleiter handelt es sich um Untersuchungsfragen, die darauf abzielen, bereits vorhandenes Wissen zu erheben. Im Interview mit dem

Maschinisten kommen noch Forschungsfragen hinzu, die dazu geeignet sind, neues Wissen zu erlangen (vgl. Gläser und Laudel 2010, S. 62-68).

Die Interviewleitfäden der für diese Arbeit erstellten Experteninterviews befinden sich im Anhang 1 und Anhang 3.

3.4 Transkription

Experteninterviews werden im wissenschaftlichen Kontext üblicherweise auf einen Tonträger aufgenommen, um einem Informationsverlust entgegenzuwirken (vgl. Gläser und Laudel 2010, S. 157f; Mayring 2002, S. 70) und müssen im Anschluss verschriftlicht werden. Diesen Schritt nennt man Transkription. Sie ermöglicht es, Daten zu analysieren und sie dauerhaft in einer leicht verständlichen Form abzurufen. Für die Transkriptionen dieser Arbeit wird die inhaltlich-semantische Transkriptionsweise angewandt, wobei auf Tonverläufe, Sprechgeschwindigkeit, Lautstärke und Dialekt verzichtet wird (vgl. Mayring 2002, S. 89-91; Mayer 2013, S. 47f). Die Transkriptionen befinden sich im Anhang 2 und Anhang 4 dieser Arbeit. Die wörtliche Transkription bietet die Möglichkeit, das verbal erhobene Material weiter zu interpretieren (vgl. Mayring 2002, S. 89; Mayer 2013, S.25f, S. 28ff) und diese zu zitieren (vgl. Mayer 2013, S. 56). Die Tonaufnahmen werden nach der Transkription auf Wunsch der Interviewten gelöscht.

Die Erkenntnisse aus den Experteninterviews dienen der Ermittlung der derzeitigen Methode beim Einlegen von Rückegassen und im Falle des Experteninterviews mit dem Maschinisten zur Auswertung wird das Interview zur Auswertung herangezogen.

3.5 Methodik Arbeitsstudie

„Ziel der Arbeitsgestaltung ist die Erfüllung der Arbeitsaufgabe unter bestmöglicher Berücksichtigung der menschlichen Eigenschaften und Bedürfnisse, der Umwelt (Nachhaltigkeit am Boden und Bestand) sowie der Wirtschaftlichkeit. Aufgrund möglicher Zielkonflikte zwischen Ergonomie, Ökologie und Ökonomie ist es bei der Arbeitsgestaltung im Einzelfall stets erforderlich, abzuwägen und sinnvolle Prioritäten zu setzen.“ (Organisation in der Forstwirtschaft 2004, S. 90).

Arbeitsgestaltung ist eine Daueraufgabe. Sie kann aus mehreren Gründen nötig werden. Zum einen, wenn neue Arbeitssysteme entwickelt werden oder der bisherige Zustand weiterentwickelt werden soll. (vgl. Organisation in der Forstwirtschaft 2004, S. 134). Im hier vorliegenden Fall bot sich die Möglichkeit, mit einer bereits bestehenden Planungssoftware, verbunden mit einem potentiell submetergenauen GNSS-System, die Arbeitsschritte bei der Anlage von Rückegassen zu vereinfachen, den Zeitaufwand zu minimieren und Personal einzusparen.

Organisation von Erntemaßnahmen umfasst alle Maßnahmen, die der Arbeitsvorbereitung und Kontrolle dienen. Die Aufgabe der Organisation ist, die bereitgestellten Arbeitsmittel und das Verfahren optimal und im Sinne des Auftrages einzusetzen (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 79). Deshalb wurde erprobt, inwieweit die technischen Möglichkeiten, welche das NetwakeVision-System bietet, zum Erreichen des Arbeitsziels eingesetzt werden können. Dies bedeutet, dass die Arbeitsabläufe angepasst und teilweise verändert werden müssen.

Bei einer Neugestaltung einer Arbeit sollen alle Aspekte, also die Arbeitsmethode, das Arbeitsverfahren und die Arbeitsbedingungen verbessert werden. Wichtig ist es, dass die Lösungsalternativen sich an den Zielvorstellungen orientieren sollen. (vgl. Organisation in der Forstwirtschaft 2004, S. 134) Die Arbeitsmethode und das Arbeitsverfahren ändert sich bezüglich der angewandten Technik. Die Arbeitsbedingungen weichen in Teilen stark von den vorhergegangenen ab. So wird der Vorgang des Einlegens von Rückegassen nicht mehr im Zwei-Mann-Verfahren erledigt. Der Bestand muss nicht zwingend betreten werden, was sich auf die Belastung des Arbeitenden auswirkt.

Für einen Vergleich der beiden Arbeitssysteme wird eine Arbeitszeitstudie angelegt. Zunächst wird die Ausgangssituation analysiert und anschließend Aufgaben abgegrenzt und Ziele definiert. Nachdem alle Parameter in das Arbeitssystem einfließen sollen wird überlegt, wie die angestrebten Aufgaben bewältigt werden sollen und eine Feinplanung des Arbeitssystems erstellt. (vgl. Organisation in der Forstwirtschaft 2004, S. 134-136). Ist dies erfolgt, können die einzelnen Verfahren zeitlich erfasst werden. Eine Zeitaufnahme beinhaltet das Ermitteln von Arbeitszeiten. Dabei werden Ist-Zeiten gemessen, um Zeitaufwand und Kosten zu ermitteln. Um die aufgenommenen Zeiten reproduzieren zu können, ist es unerlässlich, die Arbeitsbedingungen (Witterung, Geländeneigung, Topographie, Bewuchs, etc.) unter welchen sie erhoben wurden, festzuhalten. Das Arbeitssystem (Arbeitsverfahren, Arbeitsmethode, Arbeitsbedingungen) sowie die Bezugsmengen, die Einflussgrößen und die Ist-Zeiten der Ablaufabschnitte werden beschrieben. Unter Einbeziehung aller Fakten und Einflussgrößen wird der Arbeitsauftrag für die einzelnen Abschnitte erstellt. Ein Arbeitsauftrag soll schriftlich erfolgen und legt genau die Art, Menge und Qualität der zu erledigenden Aufgaben fest (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 80ff).

4. Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Kenntnisse erörtert, welche zum Verständnis der in dieser Arbeit behandelten Thematik nötig sind.

4.1 Technische Grundlagen

4.1.1 NetwakeVision

NetwakeVision ist eine Android-basierte, digitale Planungssoftware, die einen strukturierten Umgang mit Daten ermöglicht sowie deren weitere Verarbeitung. Das NetwakeVision-System besteht aus mehreren Komponenten. Zum einen bietet NetwakeVision einen schnittstellen-offenen Webbrowser-Zugang mit Serverlösung (im Folgenden als Portal bezeichnet) an, durch den Daten, Personal und Aufgaben verwaltet und auf einem Server gespeichert werden können. Von hier erfolgt die Zuteilung der Aufgaben an die nächste Organisationsebene. Alle mit mobilen Zugängen erfassten Daten laufen hier zusammen und können in diversen standardisierten Formaten (.shp, .csv, .pdf, .kml) als Bericht extrahiert und weiterverwendet werden (vgl. www.netwakevision.com). Ebenfalls sind die Prozesse durch Regeln oder Alarme automatisierbar. Wird beispielsweise durch einen mobilen Zugang ein Käferbaum markiert, erhalten vordefinierte Anwender automatisch eine E-Mail mit dem dazugehörigen Bericht und können nahezu in Echtzeit reagieren.

Zum anderen gehört zu dem System eine mobile Anwendung (Android-App), mit welcher Koordinaten übertragen, angezeigt, verwaltet und weitergegeben werden können. Die Einsatzbereiche umfassen hierbei zum einen die Forstwirtschaft, aber auch Hoch- und Tiefbauämter, Gewässerkontrollen, Archäologie, Geocacher und den Straßenbetriebsdienst, für welchen das System ursprünglich entwickelt wurde. Weitere von der Firma genannte Funktionen sind Unfallaufnahmen, Aufnahme von Sachbeschädigungen und Bauwerkskontrollen. Als Beispiel der forstlichen Einsatzmöglichkeiten führt die Firma NetwakeVision das Arbeitsfeld der qualifizierten Baumkontrolle auf, durch welche das System dem Initiator dieser Arbeit, Martin Roth, bekannt wurde. Dieser entwickelte seitdem weitere forstliche Einsatzmöglichkeiten, wie zum Beispiel das Borkenkäfermanagement, Poltermanagement, Pflegemaßnahmen und Kultursicherung, waldbauliche Aufgaben und allgemeine Betriebsaufgaben, mit denen er seinen Betrieb organisiert. Diese Betriebsaufgaben sind als

POIs (Point of Interest) angelegt und nach Kategorien organisiert. So sind beispielsweise die Rettungspunkte des Landkreises als POI-Kategorie vorhanden und können im Notfall schnell abgerufen werden. Durch einen Klick auf einen POI erscheint neben dem Standorts-Icon ein Vector-Pfeil sowie eine Entfernungsangabe zum ausgewählten POI, was das Navigieren vereinfacht. Die Navigation zu POIs kann auch in Kombination mit Google Maps erfolgen welches im System direkt verlinkt ist.

Die Nutzung kann mit jedem handelsüblichen Android-Gerät erfolgen. Des Weiteren ist es möglich, das System per Sprachsteuerung zu benutzen, welche die Daten strukturiert in die jeweiligen Formulare einfügt (vgl. www.netwakevision.com).

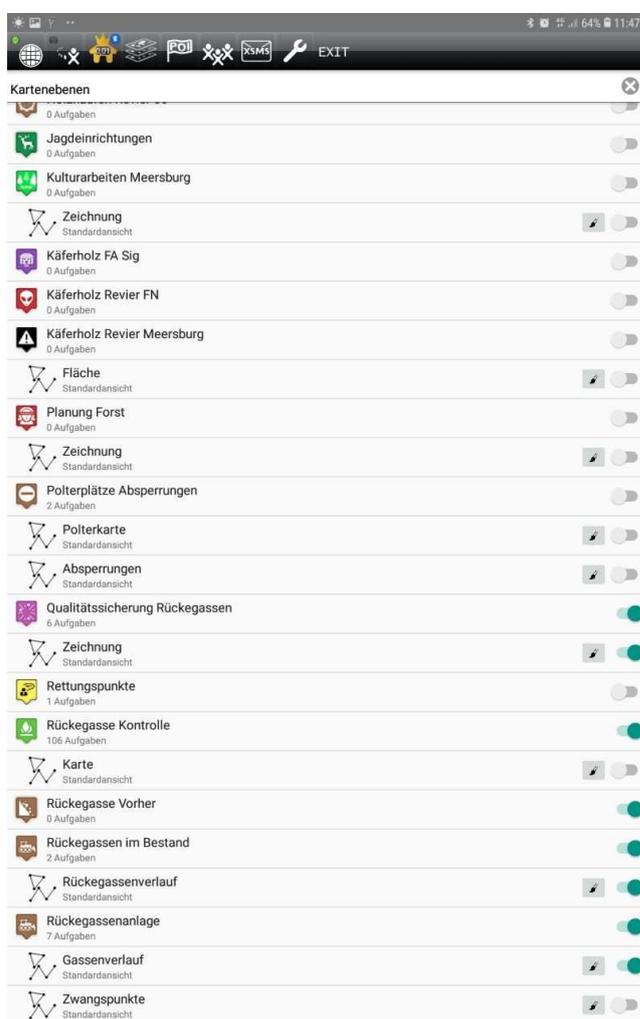


Abbildung 1: POI Auswahlmenü (eigene Darstellung)

In der App können zahlreiche Karten und Kartenlayer (wie beispielsweise Flurstücke, Grenzen, Bezirke, Naturschutzgebiete) hinterlegt werden (vgl. www.netwakevision.com), die je nach Bedarf einsetzbar sind. Die Organisation der einzelnen Aufgaben erfolgt mittels der POIs (siehe Abbildung 1), die im Portal des NetwakeVision-Systems bausteinartig erstellt und konfiguriert werden können. Diese POIs werden gezielt per mobiler Datenübertragung an die gewünschten Nutzer gesendet, welche diese bearbeiten sollen. Die Rückmeldung von diesen erfolgt auf dieselbe Weise.

Wesentliches Merkmal des Systems ist die dazugehörige GNSS-Technologie von RoyalGPS mit ihrem Empfänger RoyalFix .

4.1.2 RoyalGPS

Die wesentliche Technologie, beziehungsweise Hardware, die den Produkten von NetwakeVision (und *forstware*) eine genaue Navigation und Standortsbestimmung ermöglicht, ist RoyalGPS. Diese ermöglicht im Offenland teilweise zentimetergenaues Bestimmen von Positionen und Höhen mithilfe der RTK-Technologie (siehe Kapitel 4.1.4). Hierbei sendet die Basisstation RoyalBase Korrekturdaten, welche nicht auf eine freie Sichtlinie angewiesen sind, per mobiler Datenübertragung an den Rover RoyalFix (siehe Abbildung 3). Dieser erhält zusätzlich GNSS-Daten durch GNSS-Satelliten-Signale, verrechnet beide Informationen und sendet die korrigierten Positionskordinaten per Bluetooth an das Smartphone oder Tablet des Nutzers. Bisher wird diese Technologie im Straßenbetriebsdienst, der Forstwirtschaft, der Archäologie, im Gewässermanagement, durch Geochacher und im Facility Management verwendet.

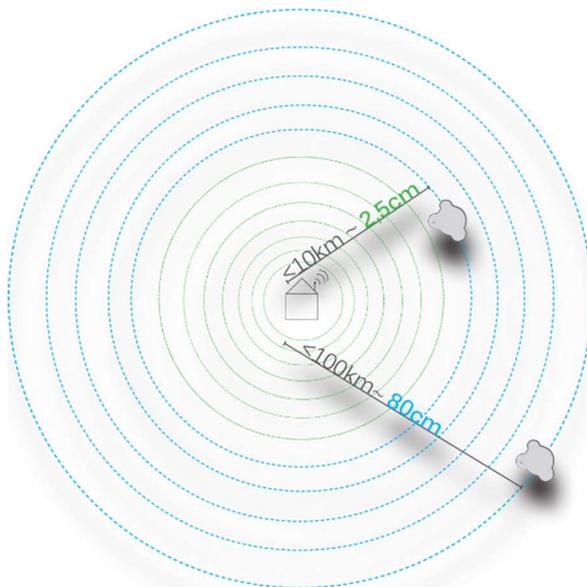


Abbildung 2: Genauigkeit von RoyalGPS in Abhängigkeit zur Entfernung (Quelle: www.royal-gps.com aufgerufen am 28.11.2018 um 19:15 Uhr)

Innerhalb von 10 Kilometern Entfernung zur Basisstation RoyalBase (siehe Abbildung 3), ist eine maximale Abweichung von unter 2,5 Zentimetern möglich. In einem Radius von 100 Kilometern um die Basisstation (siehe Abbildung 2) beträgt die Abweichung ca. 80 Zentimeter, wobei von Seiten der Firma ab einer Entfernung von der Basisstation von zehn Kilometern von einer Verschlechterung der Genauigkeit um 0,01 Meter pro weiteren Kilometer Entfernung ausgegangen wird (vgl. www.royal-gps.com).



Abbildung 3: RoyalFix mit Zubehör (links) und RoyalBase (rechts) (Quelle: www.royal-gps.com aufgerufen am 28.11.2018 um 19:15 Uhr)

Die technischen Daten von RoyalFix und RoyalBase befinden sich in Anhang 10.

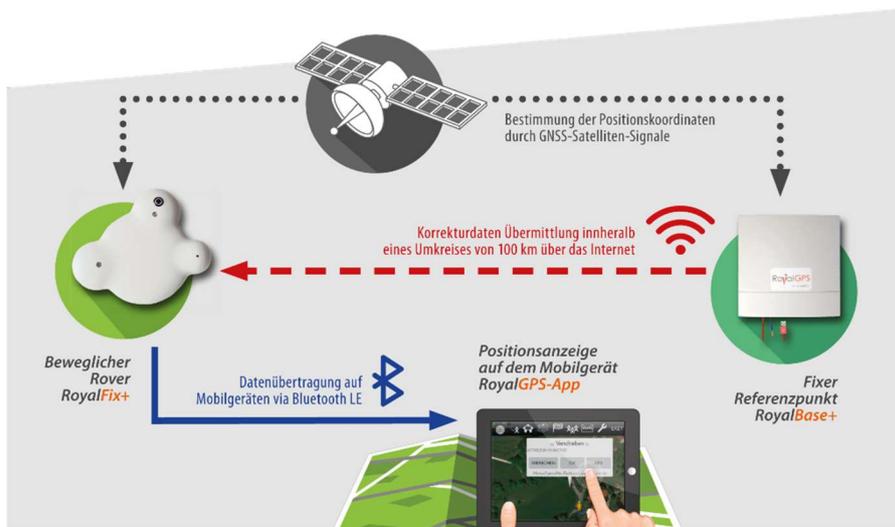


Abbildung 4: Darstellung der Funktionsweise RoyalGPS (Quelle: <http://www.royal-gps.com>, aufgerufen am 17.08.2019 um 07:30 Uhr)

In Abbildung 4 ist schematisch die Funktionsweise des RoyalGPS-Systems dargestellt (hier mit den Nachfolgerprodukten RoyalFix+ und RoyalBase+).

4.1.3 Grundlagen GNSS-Positionierung

Unter GNSS werden alle Arten von satellitengestützten Messsystemen für Navigation, Ortung und Zeitmessung mit der übergeordneten Bezeichnung GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) begrifflich zusammengefasst (vgl. Resnik und Bill 2018, S.219).

GPS (Global Positioning System) wurde 1973 als weltweit erstes (voll funktionsfähiges) GNSS-System entwickelt, um die Bestimmung von Positionen und Geschwindigkeiten beweglicher Objekte zu ermöglichen. Dem Nutzer sollte es ermöglichen, zu jeder Zeit an jedem beliebigen Punkt auf der Erde, inklusive dem erdnahen Raum, seine Position zu bestimmen (vgl. Mansfeld 2004, S.106). Die Ortung geschieht in der Einweg-Methode nach dem Entfernungsmessverfahren, was bedeutet, dass nur die Satelliten Signale senden und der Nutzer passiver Bestandteil des Systems ist. Die Entfernung vom Nutzer zum Satelliten wird durch die Signallaufzeit bestimmt (vgl. Mansfeld 2004, S.119f).

Seit 1973 wurden weitere verschiedene GNSS-Systeme entwickelt und im Laufe der Zeit der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Das erste System war das amerikanische GPS (*Global Positioning System*), gefolgt von seinem Pendant GLONASS (*Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema*), der russischen Variante der satellitengestützten Ortung, die seit Ende der Neunzigerjahre des letzten Jahrhunderts in Betrieb ist. Von der Funktionsweise ist das System ähnlich zu GPS mit leichten Unterschieden, die aber in naher Zukunft angeglichen werden sollen, um alle Systeme kompatibel zu gestalten (vgl. Mansfeld 2004, S. 221). Weitere verfügbare Systeme im Bereich der satellitengestützten Ortung sind das europäische *Galileo* und das chinesische *BeiDou*.

Die kombinierte Nutzung verschiedener Systeme, welche im Grundprinzip übereinstimmen, führt zu einer Erhöhung von Genauigkeit, Sichtbarkeit und Verfügbarkeit. Allein durch eine gleichzeitige Nutzung von GPS und GLONASS wird die Anzahl der Satelliten verdoppelt (vgl. Mansfeld 2004, S. 234ff). Seit der Bereitstellung der satellitengestützten Systeme, welche ursprünglich für die militärische Nutzung vorgesehen waren, hat sich ein großes Nutzungspotential offenbart (vgl. Resnik und Bill 2018, S. 218).

Alle genannten GNSS-Systeme basieren auf demselben Prinzip. Ein Raumsegment, bestehend aus den Satelliten auf den Umlaufbahnen im Orbit der Erde, das jederzeit

seine genaue Position auf der Umlaufbahn kennt, sendet Signale zu den Empfängern, deren Position auf der Erde ermittelt werden soll. Weicht die wahre Umlaufbahn von der errechneten ab, was durch fehlerhafte Algorithmen und Berechnungen vorkommen kann, spricht man von Orbitfehlern (siehe Abbildung 5), die sich fehlerhaft auf die Positionsbestimmung auswirken. Durch die Messung der Signallaufzeit kann ein Radius durch einen Bogenschlag ermittelt werden, auf dem sich das Empfängermodul befindet. Werden die Signale in ihrer Ausbreitung gestört und brauchen deshalb länger, spricht man von Abweichungsfehlern (siehe Abbildung 5). Durch die Triangulation von mehreren Satellitensignalen wird ein Schnittpunkt der Radien berechnet und somit die Position des Empfängers. Kontrollsegmente am Boden überwachen die Funktionen der Satelliten, da auch bei der Verwendung von Atomuhren Abweichungen auftreten können, die zur Verfälschung der Berechnungen führen. Das Nutzersegment, also die Empfänger, erlauben es, die empfangenen Satellitensignale in Position, Standort und Zeit umzurechnen (vgl. Mansfeld 2010, S. 106-118).

Eine Variante für den Einsatz von GNSS ist die Ortung, welche das Ziel hat, den momentanen Ort eines mobilen Objektes zu bestimmen und den Kurs zu wählen oder diesen zu kontrollieren. Eine andere Form der Nutzung von GNSS ist die Vermessung, welche die Geometrie eines Objektes zu erfasst, wodurch eine Beschreibung des Objektes durch Koordinaten möglich ist. Bei der Vermessung sind die Punkte jedoch in der Regel fest mit der Erdoberfläche verbunden. Beide Nutzungsformen haben gemein, dass die Koordinaten von Punkten bestimmt werden (vgl. Resnik und Bill 2018, S. 218). Diese beide Nutzungsvarianten kommen bei den in dieser Arbeit durchgeführten Verfahren zum Einsatz. Die Rückegassen werden vermessen und der Harvester wird beim Aufschneiden der Rückegassen geortet.

4.1.4 Funktionsweise Echtzeitkinematik

Das System arbeitet mit Satellitennavigation verbunden mit Boden-Funkortungssystem, sogenannter *Real Time Kinematic* (RTK). Hierbei wird an fest eingemessenen Basisstationen (im Falle von RoyalGPS von der firmeneigenen Basisstation RoyalBase) ermittelt, ob die eingehenden Satellitensignale zu fehlerhafter Positionierung führen und diese gegebenenfalls korrigiert und mittels mobiler Datenverbindung an die Empfängergeräte (hier: RoyalFix) weitergegeben. Die Reichweite von Funkortungssystemen ist aufgrund von Ausbreitungserscheinungen der elektromagnetischen Wellen begrenzt (vgl. Mansfeld 2004, S. 11). Ab einer gewissen Entfernung – bei RoyalFix sind es 10 Kilometer – zur Basisstation kann die geforderte Präzision nicht mehr gewährleistet werden (siehe Abbildung 2). Erreichbare Genauigkeit mit RTK sind laut Mansfeld (vgl. Mansfeld 2004, S. 202) null bis vier Zentimeter genau, FLOAT schafft im Mittel 20 Zentimeter. Eine Besonderheit bei NetwakeVision ist, dass alle Besitzer einer RoyalBase (beispielsweise Straßenbetriebsdienste) vertraglich dazu verpflichtet sind, die von ihrer Basisstation ausgestrahlten Korrekturdaten allen RoyalFix-Nutzern unentgeltlich zur Verfügung zu stellen. So kann im Laufe der Zeit ein flächendeckendes Netz entstehen, wie es im Bodenseekreis bereits der Fall ist.

4.1.5 Einschränkungen bei der Verwendung von GNSS-Technologie

Bei der Verwendung von GNSS-Systemen können diverse Gegebenheiten Fehler bei der Positionsbestimmung hervorrufen. So benötigen die Empfänger unter anderem eine freie Sichtlinie zum Satelliten. Diese quasioptischen Sichtbarkeitswinkel der Satelliten zum Rover/Empfänger sind fast nie möglich, da die Topographie (hier der Wald) bei geringen Einfallswinkeln die quasioptische Sicht einschränkt (vgl. Mansfeld 2004, S. 28). Die Sichtbarkeit (visibility), also eine hindernisfreie Sichtlinie zwischen dem Satelliten und dem Nutzer ist neben der Verfügbarkeit (availability) eines der wichtigsten Parameter für eine lagegenaue Ortung. Hindernisse können Objekte auf der Erdoberfläche oder die Erdkrümmung sein (vgl. Mansfeld 2004, S.193f). Die Sichtbarkeit gibt also Auskunft darüber, ob ein Nutzer zu einem bestimmten Satelliten eine (Funk-) Verbindung herstellen kann (vgl. Mansfeld 2004, S. 198). Ist die Sichtbarkeit nicht gegeben, kann es dazu führen, dass die Signale der Satelliten zum Empfänger länger brauchen und dadurch die Positionsberechnung verfälscht wird. Weitere Ursachen für eine Verfälschung oder „springen“ der Positionsdaten sind Reflexionen,

Refraktion (Brechung in der Troposphäre und Ionosphäre), Beugung, Adsorption und Streuung (vgl. Mansfeld 2004, S.57-65 und Resnik und Bill 2018, S. 224-226). Weitere Fehlereinflüsse wie Bahn- und Ausbreitungsfehler (siehe Abbildung 5) wurden bereits im vorherigen Kapitel beschrieben.

Bedeutender Faktor für Fehler sind Mehrwegeeffekte (Multipatheffekte). Dieser Begriff bezeichnet die Reflexion von Satellitensignalen an diversen Oberflächen, wie zum Beispiel Gebäuden, Wasseroberflächen oder Bäumen. Problematisch ist, dass Multipatheffekte nicht einfach zu erkennen sind. Je nach Stärke und dem resultierenden Umweg können Abweichungsfehlern von mehreren hundert Metern auftreten. Die einzige Möglichkeit solche Fehler zu identifizieren, besteht darin, zeitlich versetzte Kontrollmessungen durchzuführen (vgl. Resnik und Bill 2018, S. 225). Dies ist allerdings nur bei Vermessungsaufgaben möglich, da bei der Ortung von beweglichen Objekten, wie einem Harvester, eine Kontrollmessung nicht sinnvoll ist.

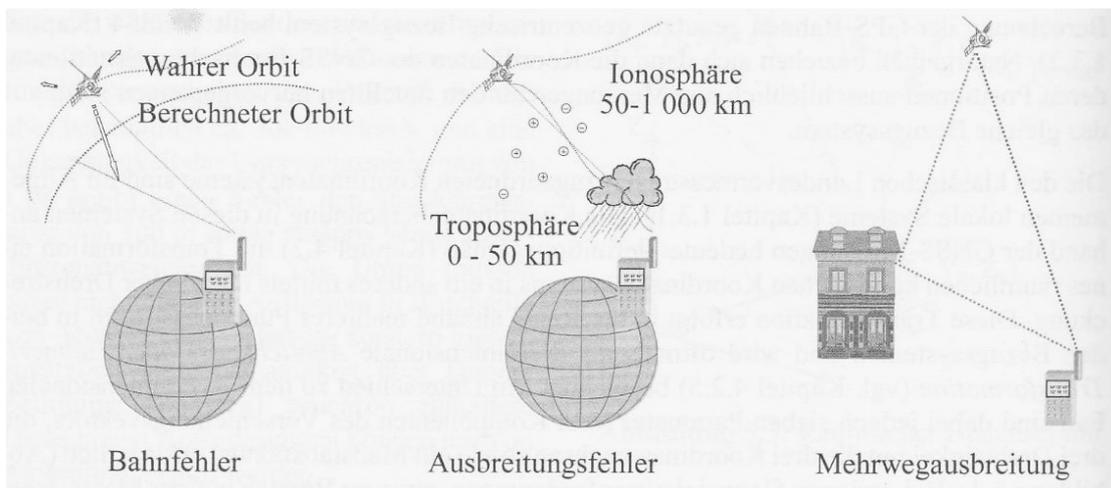


Abbildung 5: Fehlereinflüsse bei der Standortbestimmung (Quelle: Resnik und Bill 2018 S.224)

4.1.6 GNSS unter Waldbedingungen

Grundsätzlich kommt es bei der Qualität der Positionsbestimmung auf die Art des genutzten Empfängers an. Smartphones und Tablets sowie ältere oder günstigere GNSS-Handgeräte erreichen eine maximale Genauigkeit von drei Metern. Aktuellere und hochwertigere GNSS-Empfänger bewegen sich zwischen zwei und vier Metern. Hochwertige Vermessungsgrad-GNSS-Empfängerlösungen sind durchaus in der Lage, Genauigkeiten im Zentimeterbereich zu erreichen. Diese nutzen oft dieselbe Hardware (vgl. Döring 2019, S.10f). Dennoch läuft die Hardwareentwicklung am Markt sehr schnell und ist dementsprechend kurzlebig, was sich insbesondere bei Anbietern auswirkt, die große Serien produzieren. Die Unterschiede bei den verschiedenen Empfänger-Modellen am Markt liegen meist in der verwendeten Software. So kann dieselbe Hardware in einem Modell durch die Verwendung einer anderen Software deutlich in der Leistung positiv oder negativ abweichen.

Die derzeitig verwendeten Algorithmen, welche bei GNSS-Empfängern eingesetzt werden, stammen aus der Luft- und Seefahrt und sind nicht auf die Verwendung in Wäldern ausgelegt. Dieses Marktsegment ist weltweit zu klein, als dass es rentabel wäre es zu bedienen (vgl. Döring 2019, S. 11).

Im Wald beeinflussen zahlreiche Größen die Genauigkeit. So kann nachgewiesen werden, dass die Belaubung einen nachweisbaren Einfluss auf die Positionsgenauigkeit hat. Des Weiteren kommen Wind (welcher Unterschiede zwischen Kurz- und Langzeitmessungen verursacht), Stämme (die abschatten) sowie Niederschlagsarten und Luftfeuchtigkeit (die sich im Wald meist anders auswirken als in der Umgebung) hinzu. Dazu kommt die Waldart, deren differenzierte Auswirkungen auf die Positionsbestimmungen nur schwer zu generalisieren sind. Des Weiteren sind im Wald die Mobilfunk- und Internetverbindungen häufig von mangelhafter Qualität (vgl. Döring 2019), was für korrekturdatenabhängige Systeme durchaus relevant ist. Hinzu kommt, dass schon der menschliche Körper eine abschattende Wirkung hat (vgl. Kumm 2000, S. 79).

4.1.7 GNSS-Empfänger Modelle am Markt

Auf eine detaillierte Marktübersicht wird in dieser Bachelorarbeit verzichtet, da die Lage diesbezüglich unübersichtlich ist. Des Weiteren lassen sich viele Geräte schwer einschätzen, da die Hersteller bemüht sind, Details ihrer Produkte nicht preiszugeben. Die einzige Möglichkeit, die Qualität zu bewerten ist, alle Geräte unter Realbedingungen zu testen.

Grundsätzlich lassen sich verschiedene Kategorien von Empfänger definieren. Es gibt Vermessungsgrad-Systeme, die mit mehreren Bandbreiten beziehungsweise Kanälen und Korrektursignalen arbeiten, handliche Mehrbandsysteme ohne Korrektursignale. Hinzu kommen Tablets und Smartphones. Die Qualität aller Modelle hängt von der Anzahl der verwendbaren Satelliten/Satellitensystemen (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou), der Hardware, der Software und gegebenenfalls von weiteren verwendeten Korrektursystemen ab (vgl. Döring 2019).

4.1.8 Definition Präzision/Richtigkeit/Genauigkeit

Präzision (precision) ist das Maß für die Übereinstimmung der einzelnen Messergebnisse unter gleichbleibenden Bedingungen. Die Werte liegen eng zusammen. Es ist nicht als Aussage über die Richtigkeit der Werte zu verstehen. Die Richtigkeit (trueness) bezeichnet die Übereinstimmung der Mittelwerte vieler Messungen mit einem geodätischen Referenzwert. Genauigkeit (accuracy) ist die Verbindung von Präzision und Richtigkeit (vgl. Döring 2019, S. 28f). (Siehe Abbildung 6).

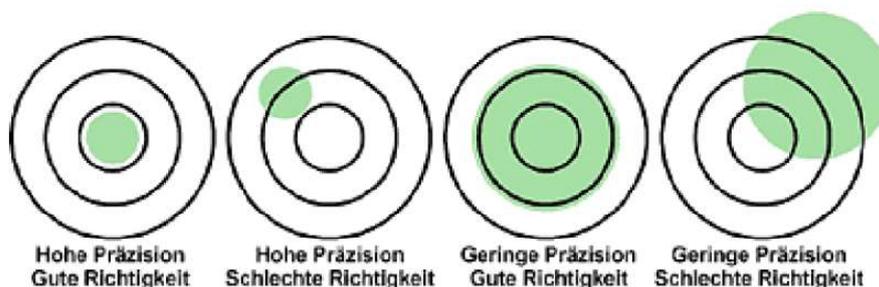


Abbildung 6: Definition (Quelle: <http://www.kowoma.de> Stand 20.06.2019)

4.3 Notwendigkeit einer Feinerschließung

In den letzten Jahren kam es zu einem vermehrt kritischen Hinterfragen der forstwirtschaftlichen Praxis durch die Bevölkerung. So wurde hauptsächlich die Situation der Rückegassen kritisiert, welche Teile der Bevölkerung nicht so hinnehmen wollte (siehe u.a. www.waldkritik.de). Dies zwang die Forstwirtschaft endgültig, im Sinne des Bodenschutzes zu handeln und Maßnahmen zur Schadensbegrenzung zu ergreifen. Auch durch die FSC®-Zertifizierung gab es Impulse für die nachdrückliche Einhaltung der Feinerschließungsrichtlinien, um den Bodenschutz gewährleisten zu können (Landtag von Baden-Württemberg 30.05.2018, S. 2). Rein aus ökologischer – und genaugenommen auch aus ökonomischer – Sicht ist der Schutz des Bodens vor unnötiger Verdichtung eminent wichtig.

Für eine möglichst bodenschonende Holzernte sollte das Rückegassensystem so geradlinig wie möglich und parallel verlaufen (vgl. Dietz 1984, S. 125ff). Insbesondere in Lagen, in welchen Traktionswinden oder andere Seilsysteme eingesetzt werden müssen, wird sonst der Bestand an den Rändern der Rückegasse schon bei geringen Kurven enorm geschädigt.

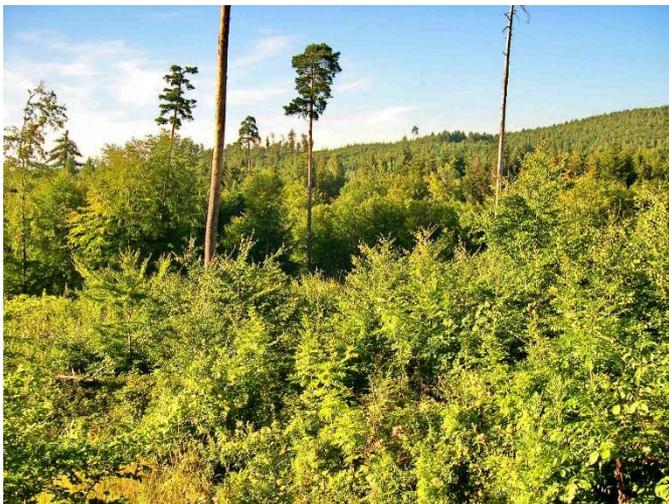


Abbildung 7: Versuchsfläche ca. viereinhalb Jahre nach Sturmwurf
(Foto: Nowak 18.08.2004)

Durch den weiter fortschreitenden Klimawandel ist zu vermuten, dass es in der Zukunft vermehrt zu Kalamitäten kommt. Dadurch wird die Verfügbarkeit von zuverlässig georeferenzierten Rückegassensystemen immer notwendiger. Sie müssen auch nach dem Auftreten solcher Kalamitäten und erfolgter Verjüngung wieder problemlos auffindbar sein. Gerade die Naturverjüngung auf Sturmfolgeflächen

(siehe Abbildung 7) stellt eine erhebliche Herausforderung bezüglich des Überblicks dar.

Weiterhin werden im Zuge der nachhaltigen Bewirtschaftung mit dauerwaldartigem Charakter der Wälder die anfallenden Dimensionen der Erntebäume immer größer. Dies erfordert ein Befahren der Flächen in immer kürzeren Zeitabständen, wodurch

die Erschließungslinien immer höheren Belastungen ausgesetzt sind. Auch das Maschinenpotential wird im Zuge der Rationalisierung immer größer und damit schwerer. Rückegassen müssen über das gesamte Bestandesleben erhalten bleiben (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 56). Aus rein ökologischer Sicht ist eine übermäßige Befahrung von Waldbodenfläche mit allen Mitteln zu verhindern, da eine Verdichtung der Böden schon bei einmaliger Überfahrt stattfindet. Eine geplante Feinerschließung ermöglicht eine bestandes- und bodenschonende Holzernte. Insbesondere bei mechanisierten Ernteverfahren ist eine entsprechende Infrastruktur erforderlich (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 83ff). Sie ist also in jedem Falle für die Holzernte erforderlich. Beim Anlegen der Feinerschließung sind standörtliche Verhältnisse zu berücksichtigen (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 80).

Das Feinerschließungsnetz muss systematisch geplant werden, wobei noch vorhandene Rückegassen nach Beurteilung ihrer Erschließungswirkung (vgl. MLR BW 2003) in die Planung miteinbezogen werden sollen. Fehler bei der Anlage von Rückegassen lassen sich bei nachfolgenden Durchforstungen nur durch erheblich höheren Planungsaufwand wieder gutmachen. Es ist notwendig, Bestände vor der Planung von Rückegassen und waldbaulichen Eingriffen genau auf ihre Besonderheiten und topographischen Anforderungen zu untersuchen, um eine optimale Lösung für die Erschließung zu entwickeln (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 56).

Durch die Feinerschließung wird die Befahrung des Waldbodens durch Fahrzeuge auf wenige Linien begrenzt und in den dazwischenliegenden Feldern eine ungestörte Bestandesentwicklung ermöglicht (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 80), was eine der grundlegenden Forderungen der Richtlinie Feinerschließung (vgl. MLR BW 2003) ist. Deshalb ist vor der Anlage der Rückegassen deren Abstand zueinander sorgfältig zu erwägen. Es muss klar sein, dass Wirtschaftsfläche durch Rückegassen verloren geht, durch einen höheren Erschließungsgrad die Bewirtschaftung aber erleichtert wird.

Um die Anforderungen an die Feinerschließung einhalten zu können, bedarf es einer dauerhaften Kennzeichnung und Dokumentation (vgl. MLR BW 2003, S. 1). Daraus geht die Notwendigkeit hervor, die Positionen und den Verlauf von Rückegassen so genau wie möglich zu erfassen und dabei sicherzustellen, dass die Positionsdaten reproduzierbar sind. Die Entscheidung, durch welche Maßnahmen oder Mittel dies

erreicht werden soll, obliegt der Betriebsleitung (vgl. MLR BW 2003, S. 3). Die Kennzeichnung und dauerhafte Markierung erfolgt in diesem Falle digital und detailliert. Hinweise zum Auffinden des Einsatzortes mittels Karte, Kennzeichnung der Lagerplätze bis zum Einzelbaum müssen derart dargestellt werden, dass sie auch von nicht ortskundigen, beziehungsweise vorinformierten Arbeitenden selbständig auffindbar sind (vgl. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998, S. 87).

4.4 Manuelles Einlegen von Rückegassen

Bisher werden Rückegassen vor allem von Hand eingelegt. Um das gängige Vorgehen dabei zu erfahren, wurde ein Experteninterview mit dem Einsatzleiter des Maschinenbetrieb Schrofel in Baiersbronn geführt (siehe Anhang 2) sowie eine schriftliche Anfrage an den für Arbeitslehre Verantwortlichen des Forstlichen Bildungszentrums Königsbronn gestellt. Beide bestätigten, dass man das Verfahren des Einfluchtens über zwei oder mehr Fluchtstäbe benutzt (siehe Abbildung 8). Somit kann man dieses als allgemein üblich ansehen, da es auch am Forstlichen Bildungszentrum gelehrt wird (vgl. Kieser, Forstliches Bildungszentrum Königsbronn 2019; Krepela 14.12.2018, Zeile 3f, 15-25).

Für alle Winkelbestimmungen des Feldversuches wurde ein Wyssen-Kompass eingesetzt, welcher einfach handzuhaben ist und gegenüber anderen Kompassen die zuverlässigsten Ergebnisse erzielt.

Beim Einfluchten einer Geraden wird am Startpunkt ein Fluchtstab lotgerecht gesetzt. Im vorliegenden Fall liegt dieser am Rande eines bereits vorhandenen Maschinenweges. Von diesem aus wird in der gewünschten Richtung ein weiterer Fluchtstab lotgerecht gesetzt und der Winkel mit dem Wyssen-Kompass festgehalten, welcher mit einer freischwingenden Montage auf Augenhöhe am Fluchtstab montiert ist. Der erste festgelegte Winkel wird für alle folgenden Richtungsänderungen gebraucht. Da es sich bei Rückegassen um längere Strecken handelt, benötigt man Zwischenpunkte (vgl. Gelhaus und Kolouch 1991, S. 33). Die Position jedes weiteren Fluchtstabes wird mit dem Wyssen-Kompass überprüft, um die Richtung einzuhalten. Dabei ist darauf zu achten, dass der Abstand des Kompasses zum Fluchtstab, welcher sich aus der Länge der Pendelmontage ergibt, bei der Peilung mitberücksichtigt wird.

Zwischen die beiden Endpunkte der Gerade wird ein weiterer Fluchtstab ungefähr in der Mitte eingefluchtet. Der Einweiser stellt sich mit einigem Abstand hinter einem

Fluchtstab mit Blick auf das andere Ende der Strecke auf und weist den Gehilfen verbal oder mit Handzeichen ein.

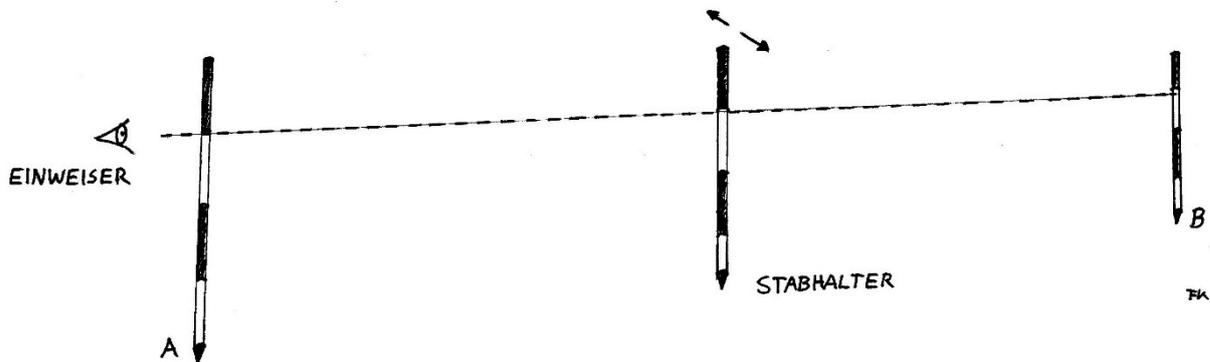


Abbildung 8: Skizze Einflechtens (eigene Darstellung)

Ist die richtige Position gefunden, steckt dieser den Fluchtstab lotgerecht in den Boden. Nun kann die Fluchtung erneut geprüft werden (vgl. Osterloh 1988; Resnik und Bill 2018, S.119f). Die Gerade kann somit als ausgefluchtet und im Gelände fixiert betrachtet werden (vgl. Osterloh 1988, S.17) und die Markierung der Gassenmitte beginnen. Dazu geht der Gehilfe die Gerade ab und markiert deren Verlauf an der vorhandenen Vegetation, wobei er sich ständig an den Fluchtstäben orientiert.

Die Gerade kann weiterhin über den bisherigen Endpunkt hinaus verlängert werden, indem man den vordersten Fluchtstab entfernt und in die Verlängerung der zwei gesetzten Fluchtstäbe einflechtet. Dabei sollte die Verlängerung über den Endpunkt hinaus nicht länger als $\frac{1}{10}$ der Geradenlänge betragen, da so keine weiteren Zwischenpunkte benötigt werden. Verlängern über die Hälfte der Strecke der ursprünglichen Geraden hinaus soll vermieden werden (vgl. Resnik und Bill 2018, S. 120). Generell ist die Fehlerwahrscheinlichkeit bei kürzeren gefluchteten Strecken höher als bei längeren Strecken. Ausschlaggebend dafür ist, dass der Umfang des Fluchtstabes sich bei den Peilungen eher negativ auswirkt.

Am Ende der Rückegasse wird im rechten Winkel gefluchtet, um die Ausgangsposition der nächsten Rückegasse einzumessen. Der Wyssen-Kompass ist mit einer Zentesimalteilung (Gon-System) ausgestattet, welches im Vermessungswesen standardmäßig verwendet wird. Der Vollkreis ist hierbei in 400 gon unterteilt (vgl. Resnik und Bill 2018). Am Endpunkt einer Rückegasse wird um 100 gon nach rechts oder links gepeilt und die gewünschte Entfernung von Gassenmitte zu Gassenmitte

mit dem Maßband ermittelt (Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998);(Krepela 14.12.2018), wodurch man den Ausgangspunkt der nächsten Rückegasse erhält. An diesem wird wiederum um 100 gon weiterversetzt gepeilt und man erhält die Peilung, beziehungsweise die Gassenrichtung der neuen Rückegasse (Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier 1998). Unterlaufen bei diesem Verfahren keine Messfehler, erreicht man so, dass die angelegten Rückegassen parallel verlaufen.

Das manuelle Einlegen von Rückegassen ist in Erstdurchforstungen, insbesondere in Nadelholzbeständen eine ernstzunehmende Aufgabe. Die Bestände sind meist so dicht, dass sich Personen nur schwer hindurchbewegen können, geschweige denn weite Stecken sehen. Um eine taugliche Sichtlinie für Peilungen zu erhalten, wird teilweise eine Motorsäge mitgeführt (vgl. Krepela 14.12.2018, Zeile 15-20).

4.5 Versuchsfläche

4.5.1 Bestand

Bei der Versuchsfläche für den Feldversuch handelt es sich um Distrikt 11 *Weierholz*, Abteilung 1 *Sechster* des Betreuungsreviers Meersburg (Forstbetriebsnummer: 435 22, Stadt/Spital Meersburg). Der Bestand ist dem Waldentwicklungstyp (WET) Fichte-stabil zugeordnet. Er ist zwischen 20 und 32, im Mittel 26 Jahre alt (f 2).

Der 8,2 Hektar große Bestand in welchem die Versuche stattfinden ist eine zur Erstdurchforstung anstehende ehemalige Sturmwurflläche (Orkan „Lothar“ 1999) mit unter 5% Gefälle von Nord nach Süd. Im nordwestlichen Teil der Versuchsfläche fällt das Gelände etwas steiler von Ost nach West ab. Der Großteil der Fläche ist eine geschlossene Dickung mit Stangenholz an mehreren Orten und geschlossenen Buchen-Altbestandsresten im Norden und Süden. Der Bestand ist kleinflächig ungleichalt und gruppen- bis horstweise gemischt. Zusätzlich zur Buchen-Naturverjüngung wurden Lärchen, Fichten, Douglasien, Stiel-Eichen und sonstige Laubbäume ergänzend in einem horstweisen Schachbrettmuster gepflanzt. Lärchen und Douglasien sind auf Reichhöhe geästet. Auf der gesamten Bestandesfläche sind vereinzelte Überhälter zu finden. An Baumarten sind Europäische Lärche (35%), Fichte (15%), Douglasie (5%), Buche (35%), Stiel-Eiche (5%) sowie sonstige Laubbäume (5%) vorhanden. Die sonstigen Laubbäume teilen sich auf in Speierling,

Walnuss, Kirsche, Birke, Elsbeere und Robinien. Insbesondere die Robinien Wildwüchse fallen teilweise durch ihre außergewöhnliche Qualität auf.

Auf der Versuchsfläche sind vereinzelt alte Zaunlinien zu finden, welche das manuelle Einlegen von Rückegassen unter Umständen erleichtern. Hinzu kommen Entwässerungsgräben, Nassstellen und alte Wurzelteller, die wiederum als Hemmnis für alle Arbeiten im Bestand eingestuft werden können.

4.5.2 Betriebliche Voraussetzungen

Das Betreuungsforstrevier Meersburg untersteht der Unteren Forstbehörde 435 Bodenseekreis und ist mit der Betreuung von ca. 700 Forstbetrieben auf rund 1100 Hektar betraut. Diese teilen sich auf in 500 Hektar Körperschaftswald und 600 Hektar Kleinprivatwald, welcher sich durch eine sehr kleine Parzellengröße auszeichnet. Zu den Aufgaben des Revierleiters gehört die Forstaufsicht im Privatwald, der Forstschutz, Waldpädagogik und Baumkontrollen im Auftrag des Straßenbauamtes. Es ist kein eigenes Personal und kein Maschinenpark vorhanden. Folglich werden alle Betriebsarbeiten an Unternehmer vergeben.

5. Datenerhebungen

Im Folgenden werden die Abläufe der verschiedenen Datenerhebungsmethoden, erläutert und die Ergebnisse visuell dargestellt. Zusätzlich werden die verwendeten technischen Geräte und deren Vorbereitungen, sowie alle für das Forschungsdesign relevanten Umstände erläutert.

5.1 Feldversuch

Ein zur Erstdurchforstung ansehender Bestand von 8,2 Hektar wurde zunächst gedanklich in zwei Teilflächen geteilt. Beide Flächen wurden nach entsprechender Vorbereitung mit dem nachfolgend beschriebenen Harvester *Tiger 20* (siehe Abbildung 9) aufgeschnitten.



Abbildung 9: Tiger 20 (eigene Darstellung)

Tiger 20

Daten:

Gesamtgewicht: 21 t (inkl. Aggregat).

Für Feuchtfelder und Hanglagen durch Kettenlaufwerk optimiert.

Mittlere bis starke Durchforstungen

0,49 kg/cm² Bodendruck.

Maschinenbreite 2.800 mm.

15,4 m Kranreichweite.

70-80 % Steigfähigkeit.

Harvesterkopf:

Logmax 5000.

Max. 63 cm Fälldurchmesser.

Inkl. Mehrbaumsammler.

Der Maschinist, Manuel Dieing, hat acht Jahre Erfahrung auf Harvestern. Die ersten sieben Jahre bediente er einen Mini-Tiger und war hauptsächlich im Schwachholz tätig. Erstdurchforstungen und Gassenaufhiebe machen einen Großteil seiner täglichen Arbeit aus.

5.1.1 Feldversuch manuelles Einmessen

Auf der südlichen Hälfte der Versuchsfläche wurden vier Rückegassen von 506 lfm durch einen Forstwirtschaftsmeister mit einem Gehilfen manuell eingelegt. Die Gassenmitte wurde farblich im Gelände markiert (Verfahren: siehe 4.4). Dabei wurden Arbeitszeitmessungen durchgeführt. Der Unternehmer schnitt bei trockener Witterung und stabilem Wetter die manuell eingelegten Rückegassen am 04.01.2019 auf. Die aufgeschnittenen Rückegassen wurden wie in Kapitel 5.2 Datenaufnahme Feldversuch beschrieben erfasst.

5.1.2 Feldversuch digitales Einlegen

Auf der nördlichen Hälfte wurden durch den Revierleiter vier weitere Rückegassen mit 851 lfm mittels der digitalen Planungssoftware am Bildschirm eines Tablets digital angelegt.

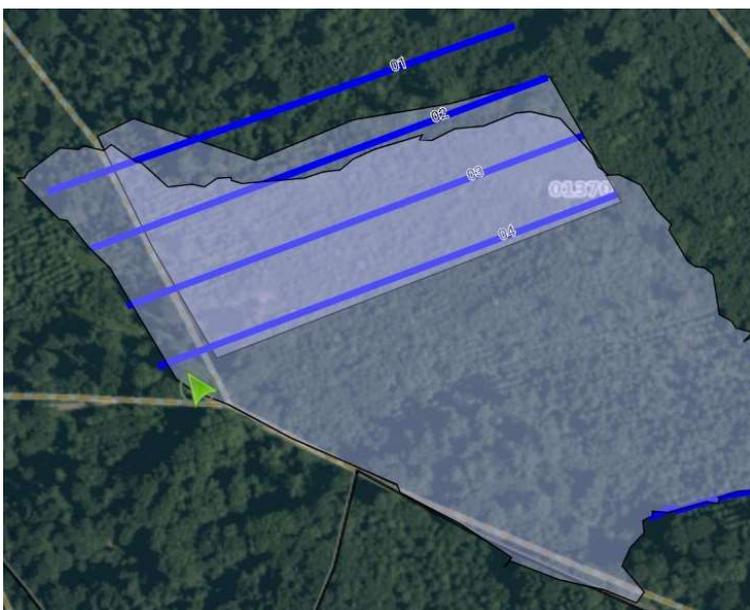


Abbildung 10: Eingegrenzte Versuchsfläche und digital angelegte Rückegassen (eigene Darstellung)

Die digital angelegten Rückegassen wurden über die Grenzen des Bestandes hinaus verlängert, da auch dort eine weitere Feinerschließung benötigt wurde (siehe Abbildung 10). Rückegasse „Digital 1“ wurde von Hand verlängert, weswegen sie nicht genau parallel zu den anderen Rückegassen verläuft

Der Verlauf der digital angelegten Rückegassen

wurde nicht im Gelände markiert. Die benötigten Zeiten wurde festgehalten. Die digital angelegten Daten über den geplanten Verlauf der Rückegassen wurden mittels der App in einen POI umgewandelt und dieser dem Unternehmer, welcher die Rückegassen aufschneiden sollte, elektronisch zugesandt.

Am nächsten Tag, vor Arbeitsbeginn, wurde der Maschinist in das System eingewiesen, der GNSS-Empfänger RoyalFix auf dem Harvester angebracht und sein privates Tablet mittels Kfz-Halterung in der Kabine angebracht.



Abbildung 11: Anbringung RoyalFix an Kabinendach (eigene Darstellung)

Der RoyalFix wurde für den Feldversuch möglichst mittig über dem Drehkranz des Harvesters angebracht, um zu vermeiden, dass die Positionsdaten bei Drehungen verfälscht werden. Die Anbringung an einer geschützten Position (hier leicht unterhalb des Kabinendachs und hinter dem Kran) diente dem Schutz vor Beschädigungen. Er wurde mit einer Halterung (hier orange in Abbildung 11), Winkelblechen und Kabelbindern an der Kabine befestigt, was sich als ausreichend herausstellte.

Der Maschinist setzte den RoyalFix vor Arbeitsbeginn in die Halterung ein und entfernte ihn nach Arbeitsbeginn, um ihn zu laden und Diebstahl vorzubeugen.



Abbildung 12: Anbringung Tablet in Kabine (eigene Darstellung)

Das *Samsung Galaxy Tab S6* Tablet des Maschinisten wurde mit einer Kfz-Halterung in der Kabine befestigt (Abbildung 12) und benötigte nur eine Stromzufuhr über das Bordnetz für den dauerhaften Betrieb. Es wurde so platziert, dass es im Sichtbereich der Bordelektronik während der Arbeit leicht eingesehen werden konnte. Zusätzlich wurde eine App (Name: „Bildschirm anbehalten“, von *Active Mobile Applications, LLC*) installiert, die es ermöglicht, die automatische Bildschirmabschaltung des Tablets

zu umgehen, solange die Netwake-App aktiv ist. Die Verbindung des GNSS-Empfängers am Kabinendach und dem Tablet erfolgte mit Bluetooth. Es wurden also keine zusätzlichen Kabel verlegt, noch wurden Daten in die bordinterne Elektronik übertragen.



Abbildung 13: Vorgabe Rückegassen (eigene Darstellung)

Die nebenstehende Darstellung (Abbildung 13) zeigt die Anzeige auf dem Tablet in der Fahrerkabine. Anhand dieser und dem sich darauf bewegenden Positionssymbol navigierte der Maschinist entlang der vorgegebenen virtuellen blauen Rückegassen. Er hatte die Anweisung, strikt nach den Vorgaben des Systems zu fahren, da Maschinisten Fehler in der Gassenführung normalerweise selbständig ausgleichen (Krepela 04.01.2019).

Während dem Aufschneiden der digital angelegten Rückegassen herrschten für GNSS-Systeme schwierige Witterungsverhältnisse, wie dauerhaftes Schneetreiben, anhaftender Schnee in den Baumkronen und eine geschlossene, tiefhängende Wolkendecke (8/8 OVC bis 9/8 OBSC, ca. 250 m), was sich deutlich bei der Funktion des Systems bemerkbar machte. So „sprang“ das Positionssymbol teilweise unkontrolliert.

5.2 Datenaufnahme Feldversuch



Abbildung 14: Kontrollpunkte (eigene Darstellung)

Nach dem Aufschneiden wurden die Rückegassen abgegangen und mit dem RoyalFix alle zehn Meter (Schrittmaß) die Position der Gassenmitte ermittelt (grüne Symbole in Abbildung 14). Diese Daten wurden im Portal von NetwakeVision in einen Bericht umgewandelt, als Shapefile (.shp) exportiert und in ArcGIS importiert um folgende Graphiken (Abbildungen 15, 16, 17) zu erstellen sowie Analysen durchzuführen.



Abbildung 15: Rückegassenverläufe (eigene Darstellung)

Vom ersten Messpunkt am Rückgassenanfang bis zum letzten Messpunkt wurde eine Gerade (im Folgenden als Ideallinie bezeichnet; in Abbildung 15 blau) eingelegt, um die Abweichungen der dazwischenliegenden Messpunkte auswerten zu können. Bei jedem Messwert wurde der rechtwinklige Abstand zur Ideallinie errechnet (siehe Diagramm 1 und Anhang 8).

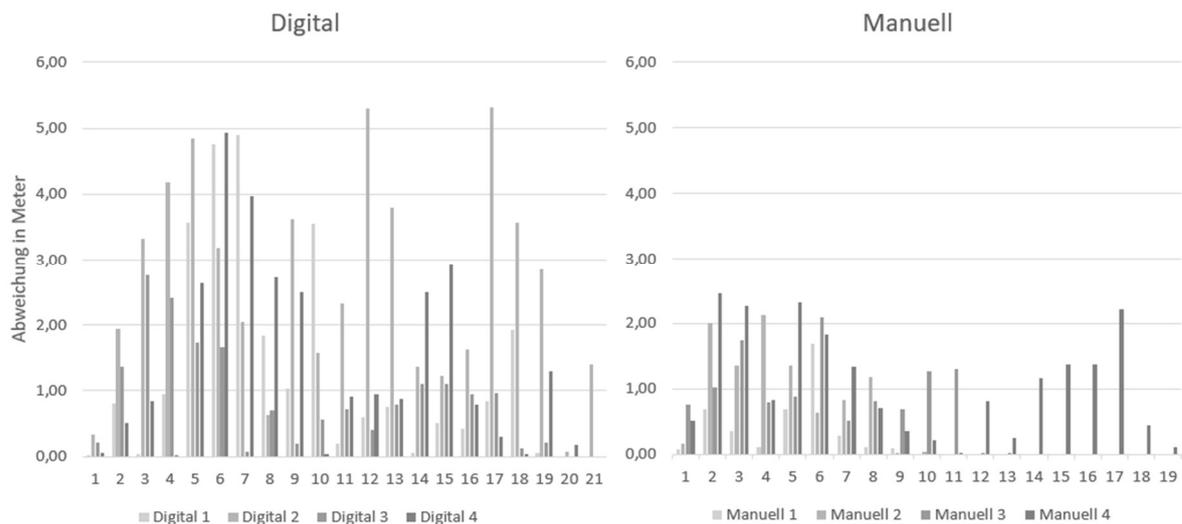


Diagramm 1: Vergleich der Abweichungen zur Ideallinie (eigene Darstellung)

Nach Abschluss der Arbeiten wurde der Maschinist Manuel Dieing über seine differenzierten Erfahrungen während des Versuchs befragt. Das Transkript befindet sich im Anhang 4.

In einer weiteren Begehung der Rückgassen mit dem Maschinisten, wurden alle Zwangspunkte, wie Wurzelteller oder Gräben, entlang der Rückgassen mit dem RoyalFix aufgenommen, welche potentielle Hindernisse für den Harvester darstellten (siehe Abbildung 516). Deren Anzahl liegt im Bereich der manuell eingelegten Rückgassen bei 22 und bei den digital eingelegten Rückgassen bei 38.

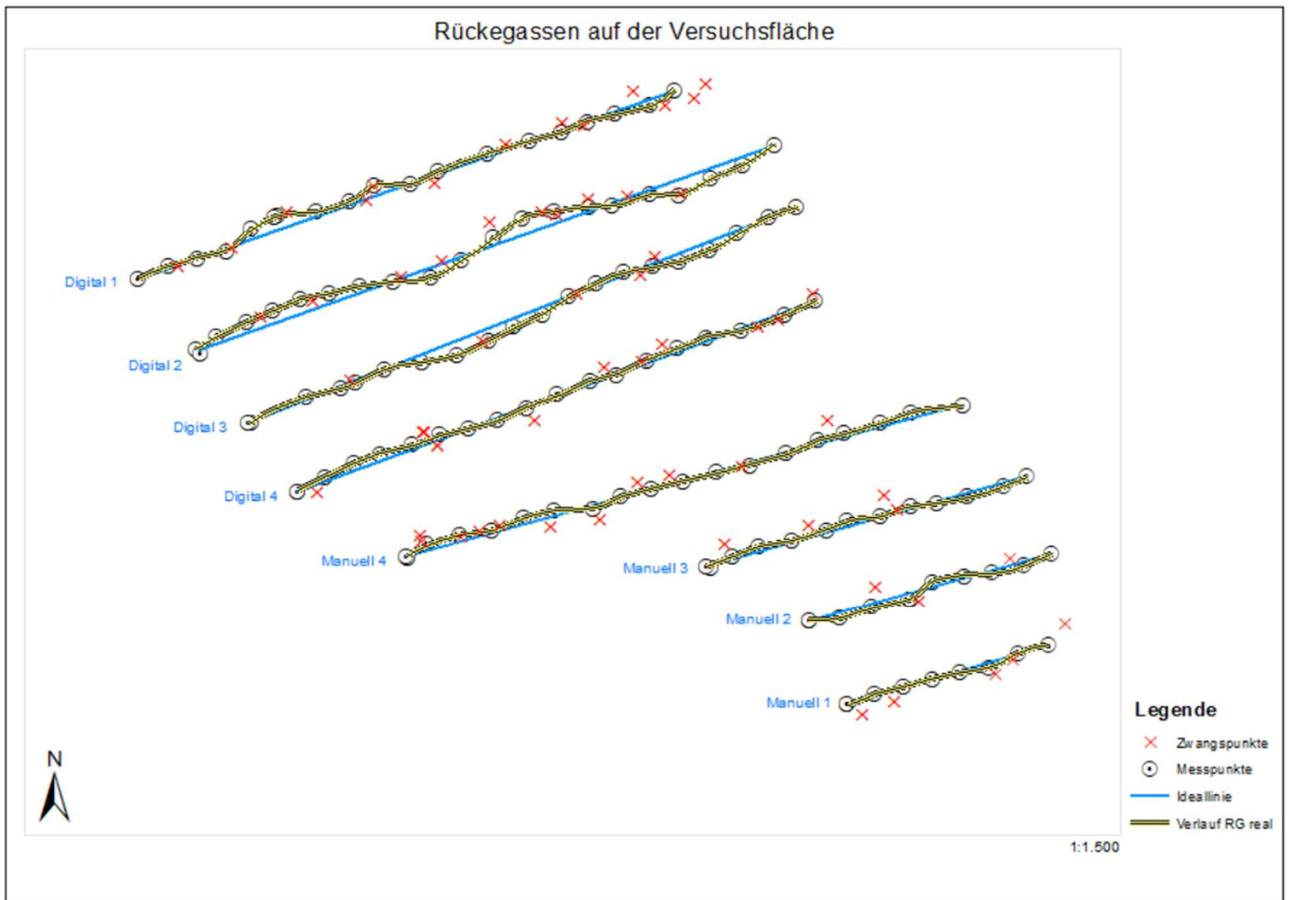


Abbildung 16: Rückegassenverlauf mit Zwangspunkten (eigene Darstellung)

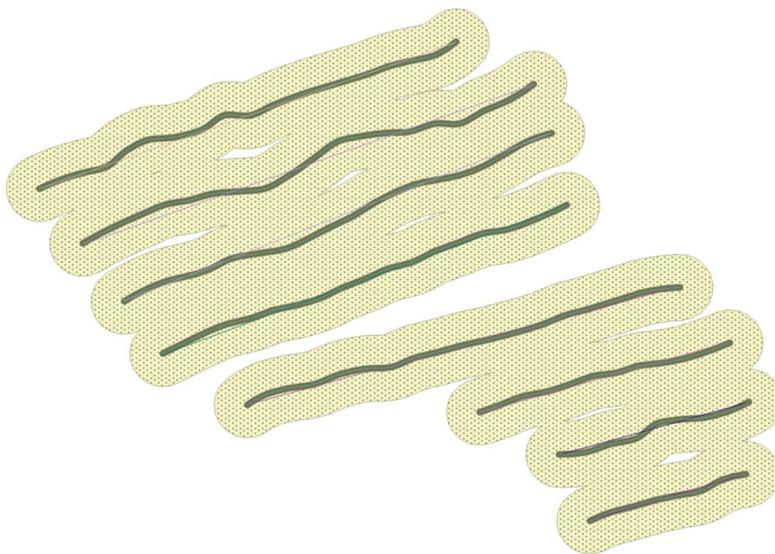


Abbildung 17: Kranzone 15 m (eigene Darstellung)

Mit ArcGIS wurde zusätzlich ein 15 Meter Puffer (Kranreichweite Tiger 20) um die Rückegassen eingelegt (Abbildung 17). So kann die Aufarbeitungszone visuell überprüft werden. Die gepunkteten Flächen markieren den Bereich, welche der Harvester von den Rückegassen aus bearbeiten kann.

5.3 Genauigkeit des Systems

Die Genauigkeit des RoyalGPS-Systems wurde auf dem GNSS-Parcours der HFR überprüft, um eine Aussage über die Verlässlichkeit der Daten unter wechselnden Bestandesbedingungen treffen zu können. Da RoyalFix nur mit Korrekturdaten sein volles Potential ausschöpfen kann und keine der firmeneigenen Korrekturantennen in der Umgebung zur Verfügung steht, wurde auf SAPOS-Korrekturdaten zurückgegriffen. Der Testparcours wurde so angelegt, dass verschiedene Arten von GNSS-beeinflussenden Faktoren abgebildet werden (Döring 2019). Der GNSS-Parcours besteht aus eingemessenen Festpunkten, die am Nordabfall des Rammert liegen. Er wird überschirmt von WET Tanne 12/1 und Fichte 10/1 die beide Naturverjüngung aus Laubbäumen beinhalten. Die Punkte 0 und 17 liegen auf einer Forststraße, Punkt 1 bis 8 auf einer Rückegasse, Punkt 9 bis 15 im Bestand und Punkt 16 auf einem Maschinenweg (siehe Abbildung 18 und Anhang 9). Auf diesen Festpunkten wird das zu testende System positioniert und die erhaltenen Koordinaten werden mit den Koordinaten der Festpunkte verglichen. Gemessen wurde 30 Sekunden lang, um ein bewegliches Objekt wie einen Harvester beim Aufschneiden einer Rückegasse zu simulieren. Aus den erhaltenen Messpunkten können Entfernungen von gemessener zu realer Koordinate und gegebenenfalls der Richtungswinkel errechnet werden. Hier wurde nur die Richtigkeit (trueness) und nicht die Präzision der Werte betrachtet (siehe Abbildung 6).

Die Messungen mit NetwakeVision wurden am 25. und 26. März 2019 jeweils drei Durchgänge zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt, um verschiedene Satellitenkonstellationen zu simulieren. Das Wetter war bei allen Messungen bedeckt (6/8 BKN) und am 25. März leicht windig.

GNSS-Parcours HFR

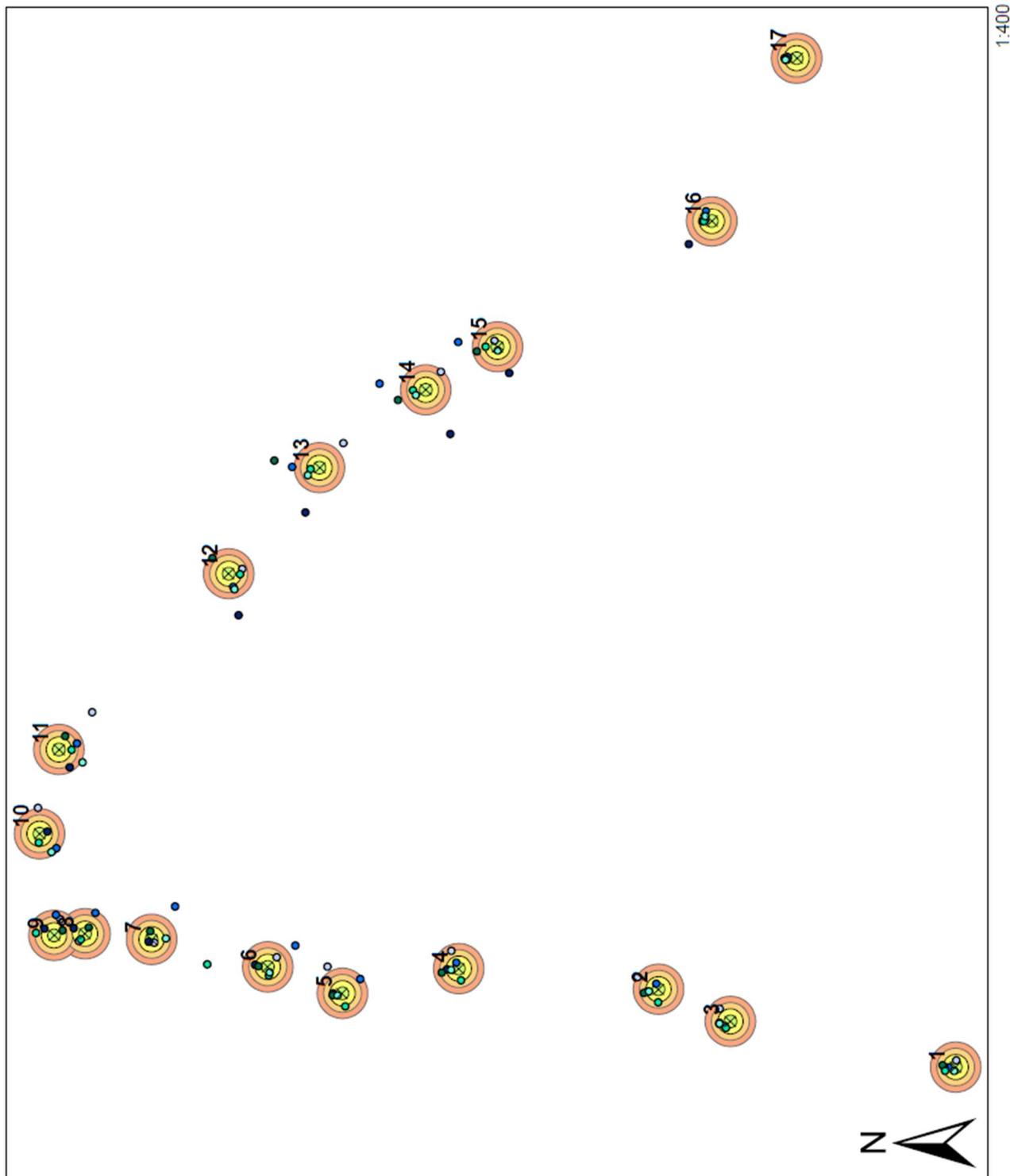


Abbildung 18: GNSS-Parcours der HFR, Messpunkte 1 bis 17 mit Testergebnissen (eigene Darstellung)

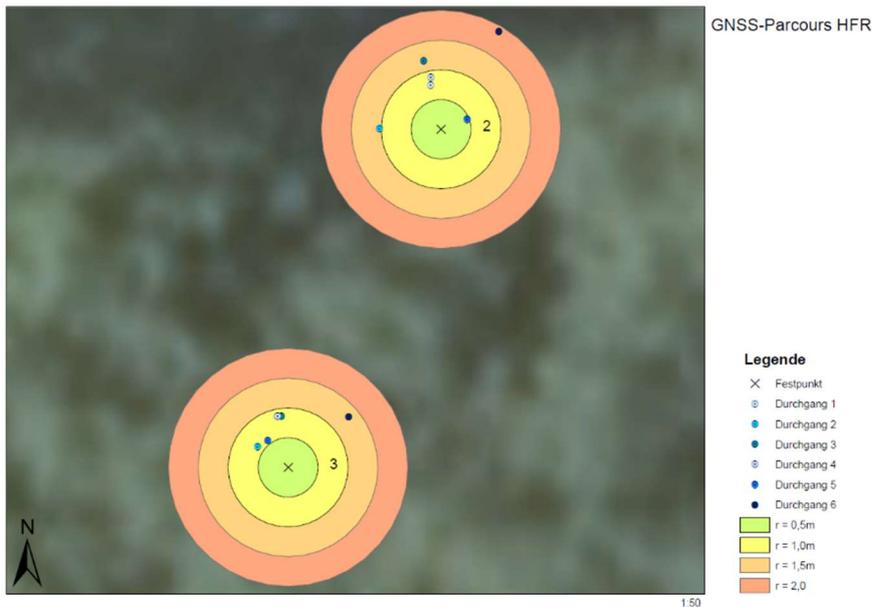


Abbildung 19: Detailansicht Festpunkte 3 und 4 - GNSS-Parcours (eigene Darstellung; Hintergrundkarte: ESRI Basemaps)

Abbildung 19 zeigt beispielhaft an den Festpunkten drei und vier (welche nicht repräsentativ sind und rein zufällig ausgewählt wurden) die Verteilung und Positionen der einzelnen Messpunkte. Sie liegen auf einer Rückegasse. Anhand der farbigen Radien lässt sich auch visuell die Entfernung zum Festpunkt einschätzen.

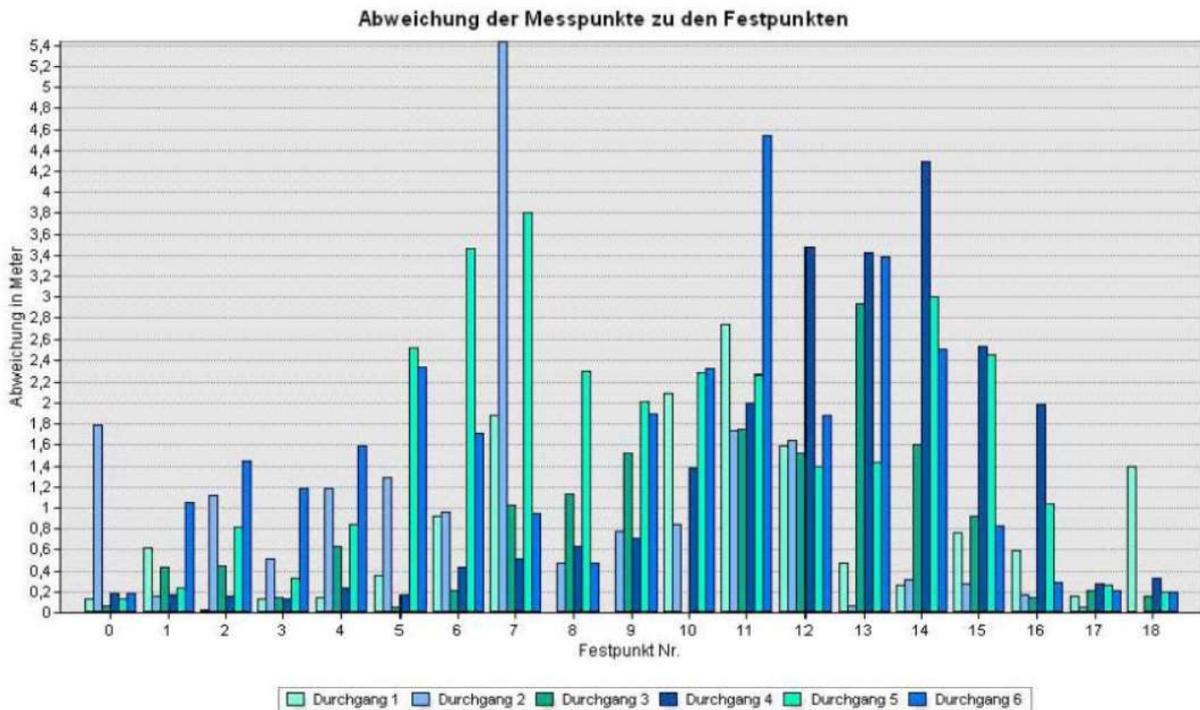


Diagramm 2: Messergebnisse GNSS-Parcours (eigene Darstellung)

Diagramm 2 veranschaulicht die Abweichungen der Messwerte in den sechs durchgeführten Messdurchgängen zu den 18 Festpunkten.

5.4 Arbeitsstudie

Die Arbeitsbedingungen bei der manuellen und der digitalen Rückegassenanlage wurden in einem Arbeitsstudien-Titelbogen festgehalten (siehe Anhang 6) und während der Durchführung deren Dauer von einem Messgehilfen im Fortschrittszeitverfahren mit einer elektronischen Stoppuhr festgehalten und in vorgefertigte Formblätter eingetragen (siehe Anhang 6.1 und Anhang 6.2).

Grundsätzlich sind die Verfahren sehr unterschiedlich, da sich das digitale Einlegen nicht in wirklich messbare Zyklen unterteilen lässt. Alle Rückegassen werden hier digital per Knopfdruck automatisch kreiert, was sich im Sekundenbereich abspielt. Der Nutzer muss lediglich die Fläche definieren, eine erste Rückegasse einzeichnen und den gewünschten Gassenabstand eingeben.

Diese Tätigkeit könnte – wenn gewollt – auch aus dem Büro und ohne seine Anwesenheit auf der Fläche stattfinden. Bei diesem Arbeitsschritt kann vollständig offline erfolgen. Es wird lediglich das vorhandene Kartenmaterial und gegebenenfalls zusätzliche Layer (Aufleger) als visueller Anhalt zur Planung benötigt und entspricht nichts anderem als einer bisher händisch angefertigten Kartenplanung.

6. Datenauswertung

In diesem Kapitel werden die in den Versuchen gesammelten Daten visualisiert, ausgewertet und ihnen Kenngrößen zugeordnet, die Aussagen über die Qualität der Ergebnisse erlauben.

6.1 Auswertung des Feldversuches

Die auch visuell erkennbaren Abweichungen von der geraden Linie (Ideallinie) aller Rückegassen (auch die manuell angelegten) wurden im Nachgang für eine detaillierte Auswertung des Rückegassenverlaufes ermittelt. Dazu wurde dasselbe Empfangsgerät verwendet mit dem auch der Harvester (beim Aufschneiden der digital angelegten Rückegassen) ausgestattet war. Dadurch wurde die vorherige Fahrlinie des Harvesters simuliert, wobei an den einzelnen Aufnahmepunkten (alle 10 m Schrittmass) solange gemessen wurde, bis das System einen stabilen Wert ermittelt hatte (FIX). Die Ergebnisse der Kontrollen sind in Diagramm 3 veranschaulicht. Nach Auswertung der Daten mit ArcGIS konnten die Verläufe der Rückegassen visuell dargestellt werden und eventuelle Abweichungen von der Ideallinie analysiert werden (siehe Abbildung 15 und Diagramm 1).

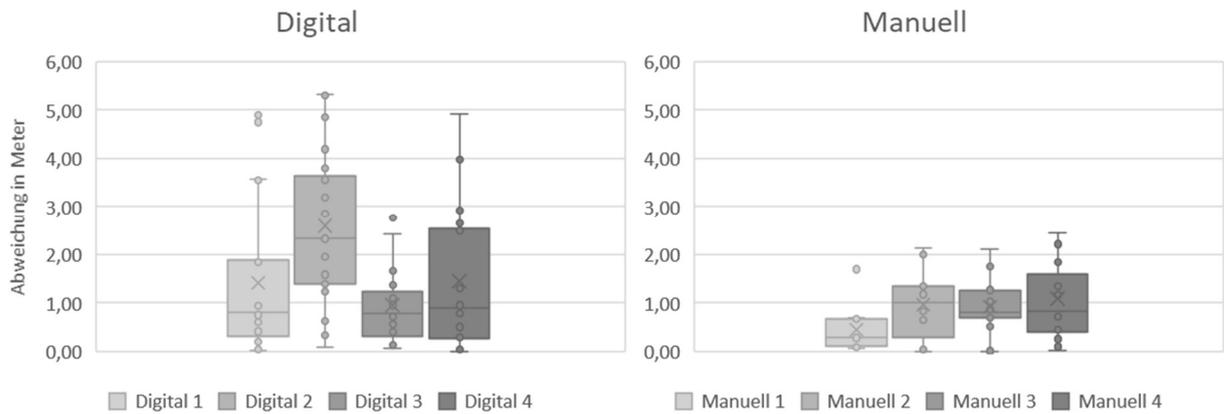


Diagramm 3: Abweichungen von der Ideallinie (eigene Darstellung)

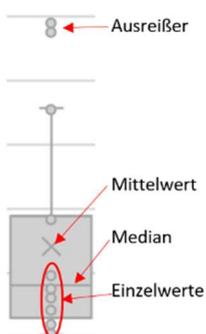


Abbildung 20:
Zeichenerklärung
Diagramm 3
(eigene Darstellung)

In Diagramm 3 sind die Abweichungen der einzelnen Messwerte dargestellt. Die Punkte entsprechen dabei den einzelnen Messwerten, das Kreuz dem arithmetischen Mittelwert, der Querstrich dem Median und das Quadrat dem Quantil inklusive Median (siehe Abbildung 20).

Die Unterschiede zwischen den manuell und den digital eingelegten Rückegassen lassen sich mit Hilfe statistischer Kenngrößen verdeutlichen. Dazu wurden alle Werte der Abweichungen getrennt erfasst und der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und der Median ermittelt. Bei den manuell eingelegten Rückegassen beträgt der arithmetische Mittelwert 0,91 m, die Standardabweichung 0,72 m und der Median 0,8 m. Bei den digital eingelegten Rückegassen liegt der arithmetische Mittelwert bei 1,63 m, die Standardabweichung bei 1,49 m und der Median bei 1,03 m. Auffällig ist hierbei, dass die Kennzahlen bei den manuell eingelegten Rückegassen relativ nahe beieinander liegen und der Median nur um 0,11 m vom Mittelwert abweicht. Das lässt auf eine geringe Zahl von extremen Ausreißern bei den manuellen Rückegassen schließen, denn bei den digital eingelegten liegen der arithmetische Mittelwert und der Median 0,6 m auseinander.

Es ist davon auszugehen, dass extreme Ausreißer auf jeden Fall vom erfahrenen Maschinisten erkannt und dementsprechend ausgeglichen werden. (vgl. Krepela 04.01.2019, Zeile 21ff).

6.2 Auswertung des GNSS-Parcours

Die Auswertung mit ArcGIS ergab eine mittlere Abweichung der Messwerte von 1,19 m zu den Festpunkten, wobei die Abweichungen zwischen 0,05 m und 5,44 m liegen.

Insgesamt wurden 111 Messungen durchgeführt ($n = 111$). Im Mittel über alle Messwerte weichen die Messpunkte um 1,19 Meter von den Festpunkten ab, wobei der arithmetische Mittelwert sehr anfällig ist gegen Extremwerte (vgl. Rumsey 2012, S. 113-116). Um eine einfach zu interpretierende Aussage über das Lagemaß der erhaltenen Werte treffen zu können, wurde der Median berechnet, da dieser nicht von Ausreißern beeinflusst wird und den eigentlichen Mittelpunkt des Datensatzes darstellt (vgl. Scheuber o.J.). Der Median der Messwerte liegt bei $C = 0,89$ Metern.

Die Standardabweichung (Streuung der Werte um den Mittelwert) der erhobenen Daten liegt bei $s = 1,12$ Meter. Bei der Standardabweichung gilt es zu beachten, dass auch sie von Extremwerten beeinflusst wird, da in die Berechnung der Mittelwert einfließt (vgl. Rumsey 2012, S. 118-122). Daraus folgt, dass die Messwerte um 1,12 Meter um den Mittelwert von 1,19 Meter liegen.

Um eine Aussage über die statistische Signifikanz des Versuchs treffen zu können wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Dabei werden die Mittelwerte der 6 Messdurchgänge (Stichproben) verglichen.

Nullhypothese H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$

Die Mittelwerte der Messdurchgänge unterscheiden sich nicht signifikant.

Alternativhypothese H_A : $\mu_{i1} \neq \mu_{i2}$

Mindestens ein Mittelwert ist von den anderen verschieden.

Getestet wird mit einem einseitigen Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$.

ZUSAMMENFASSUNG

<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>
Durchgang 1	17	14,30	0,84	0,66
Durchgang 2	18	18,81	1,04	1,54
Durchgang 3	19	16,45	0,87	0,62
Durchgang 4	19	23,05	1,21	1,79
Durchgang 5	19	30,74	1,62	1,35
Durchgang 6	19	28,98	1,53	1,34

ANOVA

<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	10,07	5	2,01	1,64	0,15	2,30
Innerhalb der Gruppen	128,62	105	1,22			
Gesamt	138,68	110				

Tabelle 1: Einfaktorielle Varianzanalyse (eigene Darstellung)

Interpretation:

Da der kritische F-Wert (2,30) größer ist als die Prüfgröße F (1,64) kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden (vgl. Tabelle 1). Die Mittelwerte der Messdurchgänge (Stichproben) unterscheiden sich nicht signifikant und stammen aus Grundgesamtheiten mit gleichen Varianzen.

Daraus folgt, dass die Nullhypothese angenommen wird und die Alternativhypothese abgelehnt werden muss.

Die Stichprobe kann also als repräsentativ angesehen werden und stellt ein wirklichkeitsgetreues Abbild der Grundgesamtheit dar. Es ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse der Messreihe reproduzierbar sind.

6.3 Auswertung Arbeitsstudie

Während der Durchführung wurden die Einzelzeiten der Ablaufabschnitte (siehe Anhang 5) im Fortschrittszeitverfahren aufgenommen. Im Folgenden werden die Tabellen erläutert. Die Tabelle mit den erfassten Einzelzeiten befindet sich im Anhang 6).

	S-Verteilzeit (AZ)	Auf- und Abrüsten (AZ)	Wegzeit	Ausrichtung festlegen	Einlegen	Einmessen Gassenanfang neu	Umsetzzeit	P-Verteilzeit (AZ)	Pausenwegzeit (AZ)	Pausenzeit (AZ)
Summen	00:13:33	00:02:42	00:04:52	00:05:12	01:40:36	00:17:33	00:00:00	00:02:28	00:00:00	00:00:00
Durchschnitt	00:04:31	00:01:21	00:02:26	00:05:12	00:20:07	00:05:51	00:00:00	00:02:28	00:00:00	00:00:00
% RAZ			3,8%	4,1%	78,5%	13,7%	0,0%			
% AZ	72,4%	14,4%						13,2%	0,0%	0,0%

Tabelle 2: Zeiten manuelles Einlegen (eigene Darstellung)

In Tabelle 2 werden die einzelnen Arbeitsschritte beim manuellen Einlegen der Rückegassen nach ihrem Zeitbedarf aufgeschlüsselt dargestellt, woraus hervorgeht, wie viel Prozent der reinen Arbeitszeit (RAZ) der einzelne Arbeitsschritt prozentual ausmacht. Demnach nimmt das Einlegen der Rückegasse mit 78,5% den größten Teil der reinen Arbeitszeit in Anspruch. Das Festlegen der Ausrichtung der Rückegassen bei Arbeitsbeginn (4,1%), das Einmessen der neuen Gassenanfänge (13,7%) und die Wegzeiten (3,8%) haben einen vergleichsweise geringen Anteil an der RAZ. Umsetzzeiten wurden aufgrund der Verhältnisse auf der Versuchsfläche nicht benötigt, was jedoch in anderen Fällen durchaus der Fall sein kann. Die allgemeinen Zeiten (AZ), also sonstige und persönliche Verteilzeiten sowie Rüstzeiten sind wie in Tabelle 2 zu sehen verteilt. Pausenwegzeiten und Pausenzeit entfielen, da keine Pausen gemacht wurden, um die Zeit auf der Versuchsfläche optimal zu nutzen und da die Arbeit auch von begrenztem Umfang war. Im Normalbetrieb treten diese natürlich auf.

	RAZ	AZ	GAZ
Summe	02:08:13	00:18:43	02:26:56
% GAZ	87%	13%	100%

Tabelle 3: Zusammenfassung manuelles Einlegen (eigene Darstellung)

In Tabelle 3 wird die Zusammensetzung der Gesamtarbeitszeit (GAZ) dargestellt. Die reine Arbeitszeit (RAZ) hat einen Anteil von 87% an der GAZ und die allgemeinen

Zeiten machen nur 13% der GAZ aus. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich der Anteil der AZ weiterhin auch im Normalbetrieb in diesem Bereich anzusiedeln ist. Im Versuch entfielen die Pausenzeiten aufgrund der beanspruchten Zeit, während bei einem achtstündigen Arbeitstag definitiv Pausenzeiten anfallen werden. Der dadurch ansteigende Anteil der AZ wird durch das Wegfallen von Rüstzeiten ausgeglichen, welche an einem Arbeitstag (ohne Ortswechsel) nur einmal vorkommen.

	S.-Verteilzeit (AZ)	Auf- und Abrüsten (AZ)	Wegzeit	Fläche eingrenzen	Startgasse einlegen	Gassen erzeugen	Umsetzzeit	P.-Verteilzeit (AZ)	Pausenwegzeit (AZ)	Pausenzeit (AZ)
Summen	00:00:00	00:02:37	00:04:40	00:04:10	00:01:35	00:00:16	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Durchschnitt	00:00:00	00:01:18	00:02:20	00:04:10	00:01:35	00:00:16	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
% RAZ			44%	39%	15%	2%	0%			
% AZ	0%	100%						0%	0%	0%

Tabelle 4: Zeiten digitales Einlegen (eigene Darstellung)

In Tabelle 4 werden die Anteile der Arbeitsschritte beim digitalen Einlegen von Rückgassen dargestellt. Hier entfallen 39% der RAZ auf das Eingrenzen der Fläche auf der die Rückgassen generiert werden sollen, auf das Einlegen der ersten Rückgasse 15% und auf das generieren aller weiteren Rückgassen, unabhängig von deren Anzahl und den laufenden Metern benötigt nur 2% der RAZ. Der mit 44% größte Anteil an der RAZ wird durch die Wegzeiten in Anspruch genommen. Diese können gegebenenfalls ganz eingespart werden, wenn die digitale Planung der Rückgassen nicht vor Ort stattfindet. Bei den allgemeinen Zeiten wirken sich ausschließlich die Rüstzeiten (100% AZ) aus, da der gesamte Prozess nur knapp über 13 Minuten in Anspruch nimmt und somit keine Notwendigkeit für Pausen- oder Verteilzeiten besteht.

	RAZ	AZ	GAZ
Summe	00:10:41	00:02:37	00:13:18
% GAZ	80%	20%	100%

Tabelle 5: Zusammenfassung digitales Einlegen (eigene Darstellung)

In Tabelle 5 wird die Zusammensetzung der GAZ beim digitalen Einlegen dargestellt. Die RAZ hat einen Anteil von 80% und die AZ von 20% an der Gesamtarbeitszeit (GAZ).

Im Folgenden wird vereinfacht der Übertrag der Zeiten auf das Streckenmaß dargestellt, da die gemessenen Gesamtzeiten schon ein relativ deutliches Ergebnis erahnen lassen. Basierend auf der Gesamtanzahl von 506 lfm manuell eingelegter Rückegasse und einer GAZ von zwei Stunden, 26 Minuten und 56 Sekunden ergibt sich eine Stundenleistung von 206,5 lfm/h. Mit der reinen Arbeitszeit (RAZ) gerechnet beträgt die Leistung 206,8 lfm/h. Im Gegensatz dazu ergeben sich beim digitalen Einlegen von 851 lfm in 13 Minuten und 18 Sekunden Gesamtarbeitszeit (GAZ) eine stündliche Leistung von 3839 lfm/h. Rechnet man hier mit der RAZ kommt man auf 4778 lfm/h.

Hierbei gilt es hervorzuheben, dass bei der digitalen Rückegassenanlage die Anzahl der Rückegassen und die laufenden Meter keine Rolle spielen. Die Erzeugung der Rückegassen erfolgt rein digital und die benötigte Zeit ist einzig von der Rechenleistung des verwendeten Systems (Mobiltelefon/Tablet) abhängig.

Bei einem Rückegassenabstand von 30 Metern, wie er auf der Versuchsfläche gegeben ist, wird davon ausgegangen, dass pro Hektar Wald 333 laufende Meter Rückgassen verlaufen. Somit betrüge der Zeitbedarf für das manuelle Anlegen von Rückegassen eine Stunde und 36 Minuten pro Hektar und beim digitalen Einlegen fünf Minuten und vier Sekunden pro Hektar (jeweils mit der GAZ berechnet).

6.3.1 Anfallende Lohnkosten

Die angenommenen Lohnkosten von 71,4 €/h für einen Revierleiter, 43 €/h für einen Forstwirtschaftsmeister und 35 €/h (jeweils inklusive Lohnnebenkosten) für einen Messgehilfen werden in den folgenden Berechnungen zugrunde gelegt.

Die Anschaffungskosten, Abschreibung und Betriebs-/Energiekosten werden nicht berücksichtigt, da es in dieser Arbeit primär um die Kostenersparnis bei den Lohnkosten geht. Die Gesamtarbeitszeit pro Hektar beträgt beim manuellen Verfahren 1,6 Stunden/ha und beim digitalen Verfahren 0,09 Stunden/ha.

Daraus ergeben sich bei derzeitigen Lohnkosten pro Hektar beziehungsweise pro 333 lfm Rückegasse beim manuellen Verfahren, durchgeführt von einem Forstwirtschaftsmeister und einem Messgehilfen, von 124,8 €/ha. Das digitale Einlegen wurde von einem Revierleiter durchgeführt und würde somit 6,4 €/ha kosten, was im Vergleich zur herkömmlichen Methode 5,1% sind. Dies entspricht einer Lohnkosteneinsparung von 94,9%, beziehungsweise 118,4 €/ha.

Die Berechnungen beziehen sich auf die im Versuch genutzten Personal-konstellationen. Die Kosten würden beim manuellen Einlegen deutlich steigen, wenn die Arbeit von einem Revierleiter mit einem Messgehilfen durchführen würde und die Kosten für das digitale Einlegen würden noch geringer ausfallen, wenn die Arbeit an einen Forstwirtschaftsmeister delegiert würde.

6.3.2 Auswertung der Arbeitsstudie

Aufgrund der Deutlichkeit der Lohnkostensparnis über das digitale System sind Einzelzeitwerte des Arbeitsablaufes zur Bildung einer Stichprobe überflüssig. Des Weiteren lassen sich die beiden Arbeitssysteme nicht sinnvoll vergleichen, da das reine Einlegen der Rückegassen bei der manuellen Methode den Hauptanteil der reinen Arbeitszeit (RAZ) ausmacht und bei der digitalen Methode verschwindend gering ist. Das Zuordnen einer sinnvollen Bezugsgröße ist nicht möglich.

7. Erkenntnisse

In diesem Kapitel werden Schlussfolgerungen aus den erhobenen Daten gezogen und Aussagen über weitere Erkenntnisse, welche sich im Laufe der der Versuche einstellten, getroffen.

7.1 Auswertung Feldversuch

Aus der Auswertung des Feldversuchs bei welchem das manuelle Einlegen von Rückegassen dem digitalen, GNSS-gestützten Einlegen gegenübergestellt wurde, geht hervor, dass die digitale Lösung für alle Beteiligten eine Erleichterung darstellt.

Der **Planende** muss den Verlauf der Rückegassen nicht mehr im Gelände einmessen und markieren. Er kann die gesamte Feinerschließungsplanung am Display erstellen. Er ist dadurch witterungsunabhängig und kann Schlechtwetterperioden für solche Tätigkeiten nutzen. Der gesamte Prozess des Markierens ist in wenigen Sekunden abgeschlossen. Die daraus resultierenden Aufträgen können unmittelbar elektronisch an den Harvesterfahrer weitergegeben und dauerhaft gespeichert/gesichert werden.

Der **Harvesterfahrer** erhält die digitalen Anweisungen direkt aus der Offline-Planung des Revierleiters. Er kann unmittelbar mit den Arbeiten beginnen und muss nicht vom Revierleiter in die örtlichen Verhältnisse eingewiesen werden. Er kann gleichmäßiger, kontinuierlicher und flüssiger arbeiten, da er die Orientierung auf dem Display als vorteilhaft empfand. Er konnte sich komplett auf die Arbeiten konzentrieren, da er nicht auf manuelle Markierungen im Bestand achten musste. Dies empfand er als Arbeits-erleichterung. Er musste während der gesamten Tätigkeit den Harvester nicht verlassen, um Markierungen zu suchen, die durch Gestrüpp verdeckt waren. Er empfand die Nutzung des Tablets zur Navigation als Erleichterung seiner Arbeit.

Er ist nicht auf Tageslicht und gute Sichtverhältnisse angewiesen und ist somit in der Einteilung seiner Arbeitszeiten flexibler (morgens, abends, nachts), was besonders im Winterhalbjahr, in welchem diese Arbeiten bevorzugt durchgeführt werden müssen, ein ausschlaggebendes Argument ist. Er kann völlig autark seine Arbeit im Tagesverlauf planen und durchführen.

Insgesamt ist die Orientierung im Umfeld der Hiebsfläche deutlich übersichtlicher, was als angenehm empfunden wird. Es entsteht nie der Eindruck, den Überblick verlieren zu können. Das psychische Sicherheitsempfinden (und damit die Leistungsfähigkeit

etc.) steigt. Unter Umständen sind schon andere Maßnahmen für ihn im System erkennbar, wodurch er im Voraus planen kann (Tieflader etc.) und damit insgesamt wirtschaftlicher und ökonomischer.

Der Harvesterfahrer würde sich zutrauen, die Anlage von Rückegassen selbst durchzuführen und als Gesamtpaket/Dienstleistung anzubieten. Dazu wäre er bereit, das komplette System inklusive mobiler Basisstation zu erwerben. Er ist davon überzeugt, dass sich die Investition sehr schnell amortisiert. Er würde das System auch gerne in Südtirol einsetzen (vgl. Krepela 04.01.2019).

Entscheidender Vorteil gegenüber anderen Verfahren, bei welchen der Rückegassenverlauf im Voraus im Gelände abgesprochen wird und die Positionsdaten dann digitalisiert weitergegeben werden, ist, dass schon bei der Erhebung dieser Positionsdaten Abweichungen in der Präzision auftreten können. Diese Abweichungen der geodätischen Lage werden beim Aufschneiden der Rückegassen unter Umständen weiter verschlechtert, da bei dieser zweiten Ermittlung der Positionsdaten ebenfalls Abweichungen auftreten können. Wird das Rückegassensystem allerdings wie bei diesem System digital angelegt, so können Abweichungen erst beim Aufschneiden der Rückegassen auftreten, da die Position nur einmal ermittelt wird. Dies führt zu einer höheren Präzision der tatsächlichen geodätischen Lage der Rückegassen.

7.2 Auswertung GNSS-Parcours

Die Tests der Wiederholungsgenauigkeit auf dem GNSS-Parcours der Hochschule (siehe Kapitel 5.3 Genauigkeit des Systems) wurden bewusst bei gleichmäßigen Wetterbedingungen durchgeführt, um vergleichbare Werte zu erhalten. Die Dauer einer Messung betrug nur 30 Sekunden, um sich bewegende Objekte zu simulieren. Bei längeren Messperioden wären die Werte deutlich stabiler.

Es liegen wenige Daten zum Vergleich mit anderen Systemen vor. Eines der ebenfalls auf dem GNSS-Parcours der HFR getesteten GNSS-Systeme war das LogBuch-System. Dies stellt die einzige belegbare Datenquelle von unter annähernd gleichen Umständen ermittelten Daten dar. Das LogBuch-System wurde am 15.05.2018 durch Herrn M. Schraitle getestet, welcher eine durchschnittliche Abweichung der Messungen von den geodätischen Koordinaten von 5,29 Metern angibt

(vgl. Schraitle 2018, S. 41). Dem steht eine durchschnittliche Abweichung (arithmetisches Mittel) von 1,19 Metern des RoyalGPS-Systems gegenüber.

Die Ergebnisse des Versuches auf dem GNSS-Parcours lassen den Schluss zu, dass das RoyalGPS-System auch unter wechselnden Bestandesbedingungen im Wald relativ zuverlässige Positionsdaten liefert. Auch bei den kurz gewählten Messintervallen (30 Sekunden) war das System in der Lage, die Position mit einer zufriedenstellenden Präzision zu ermitteln. Die Richtigkeit der Positionen variierte bei den verschiedenen Messungen.

7.3 Mobile Geräte

Alle mobilen Geräte, wie Smartphones oder Tablets, reagierten negativ auf die niedrigen Temperaturen während des Versuchs. Es kam vermehrt zu Systemabstürzen, Reaktionsverlusten und reduzierter Akkuleistung. Auch die Nutzung bei Niederschlag war nur bedingt möglich, da die nassen Touchscreens nicht korrekt auf Berührungen reagierten. Bei warmer Witterung gilt es, ein Überhitzen der Geräte zu vermeiden, da sich diese im Dauerbetrieb und gegebenenfalls bei Sonneneinstrahlung sehr schnell aufheizen. Diese Faktoren wirken sich beim Betrieb in einem Fahrzeug nicht aus und sind nur für den mobilen Anwender (beispielsweise Revierleiter) von Bedeutung, welcher der Witterung ausgesetzt ist.

8. Fazit

Die im Ergebnisteil präsentierten und ausgewerteten Daten liefern die Grundlage für die Beantwortung der Fragestellung dieser Bachelorarbeit. Im Folgenden werden die Ergebnisse zum einen kritisch betrachtet und diskutiert, zum anderen wird auf mögliche Fehlerquellen eingegangen.

8.1 Bewertung

Unter Waldbedingungen liefert RoyalFix nicht immer zuverlässig submetergenaue Ergebnisse, jedoch fast immer weniger als zwei Meter Abweichung. Dies ist für den, im Rahmen der Bachelorarbeit durchgeführten, Versuch waldbwirtschaftlich völlig ausreichend. Ausschlaggebend ist, dass der Arbeitgeber mit dem Ergebnis zufrieden ist.

Die durch den Einsatz des Systems entstehenden Nachteile werden deutlich durch die Vorteile übertroffen. Zukünftige Nutzer des Systems müssen sich der möglichen Abweichungen bewusst sein und diese in ihren Planungen berücksichtigen. Durch den geldwerten Vorteil bei Personal- und Maschinenkosten werden die Messungenauigkeiten weit mehr als nur ausgeglichen.

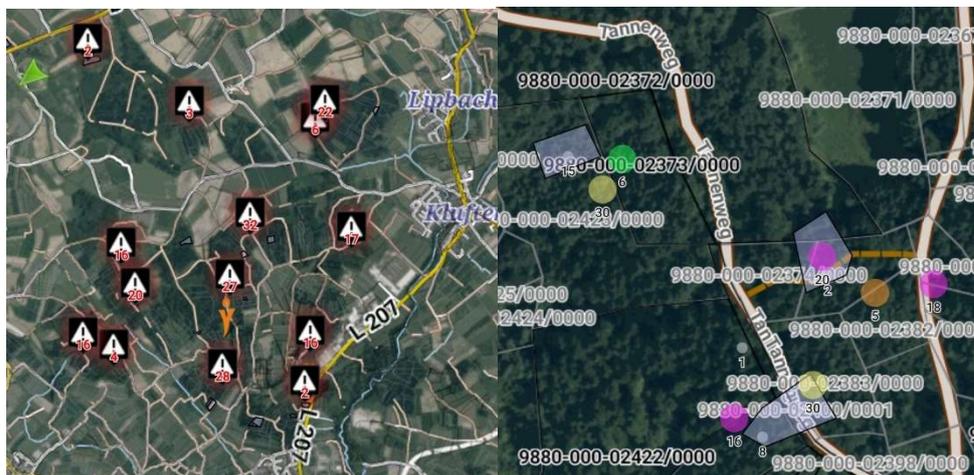


Abbildung 21: Beispiel Borkenkäfermanagement (Bild: M. Roth)

Des Weiteren offenbarten sich während der Entstehung dieser Bachelorarbeit viele neue Nutzungsvarianten für das NetwakeVision-System. Als Beispiele seien das Käfermanagement (siehe Abbildung 21) oder die Rationalisierung von Kulturarbeiten durch ortsunkundige Arbeitskräfte genannt, welche sich beide als äußerst effektiv

erwiesen. Auch für beratende Tätigkeiten von Privatwaldbesitzern, wie das Feststellen von Grenzen, ist die RoyalGPS-Technologie bestens geeignet. Generell ist das Aufnehmen oder Auffinden einzelner Objekte deutlich vereinfacht. Ein Mehrfachnutzen durch die Verwendung von NetwakeVision ist deutlich zu erkennen.

8.2 Einflüsse des Versuchsaufbaus

Der Bestand, in welchem der vergleichende Feldersuche durchgeführt wurde, erwies sich als geeignet, um verschiedene Einflüsse auf die Genauigkeit es Systems zu testen. Er ist kleinflächig gegliedert, wobei sich Nadelholz und Laubholz abwechseln. Des Weiteren liegt er zwischen zwei Standorten der Korrekturantennen und erhält von beiden Daten, wobei die von NetwakeVision empfohlene Maximalentfernung von 10 Kilometern leicht überschritten wird.

Das Wetter an den Tagen, an denen die Versuche durchgeführt werden entsprach der Jahreszeit, in welcher diese Arbeiten üblicherweise durchgeführt werde. Das Aufschneiden der digital angelegten Rückegassen durch den nach dem RoyalGPS-System navigierenden Harvester wurde bewusst auf die Tage mit Schneefall und anhaftendem Schnee in den Baumkronen gelegt, um das RoyalGPS-System unter schlechtesten Bedingungen auf seine Leistungsfähigkeit zu testen. Das Wetter war ein deutlicher Faktor und beeinflusste die Genauigkeit des Systems, so dass davon ausgegangen werden kann, dass bei günstigeren Wetterbedingungen noch bessere Werte zu erwarten sind.

Insgesamt lässt sich aus den Erfahrungen während der Versuche und weiteren Nutzungen mit dem RoyalGPS-System sagen, dass das Wetter einen enormen Einfluss auf die Funktion hat. Sowohl bei Schneefall als auch bei starkem Niederschlag brauchte das System deutlich länger, um Satelliten zu erfassen und die Position genau zu bestimmen. Waren die Messintervalle nicht lang genug, wie es bei einem fahrenden Harvester im Bestand der Fall ist, wichen die Positionsdaten deutlicher von der geodätischen Koordinate ab. Es wäre also ratsam, das System in Fällen, in denen es auf hohe Präzision ankommt, nach Möglichkeit bei besserem Wetter einzusetzen. Auch nadelholzreiche Bestände sind ein auffallendes Hemmnis.

8.3 GNSS-Parcours

Die Ergebnisse sind zufriedenstellend und erlauben zukünftigen Nutzern eine Einschätzung der zu erwartenden Abweichungen unter forstlichen Bedingungen. Die Wiederholungsgenauigkeit der ermittelten Positionsdaten liegen in einem praxistauglichen Rahmen. Um das RoyalGPS-System mit den Systemen anderer Hersteller vergleichen zu können wären die Testergebnisse von den Messreihen dieser Systeme nötig. Auch wenn diese vorliegen sollten, kann daraus kein exakter Vergleich gezogen werden, da sie nicht unter denselben Bedingungen ermittelt wurden. Einflüsse wie Witterung, atmosphärische Bedingungen und Satellitenkonstellation spielen bei der Genauigkeit der Positionsdaten eine erhebliche Rolle. Werden also verschiedene Systeme nicht zur selben Zeit getestet, sind die Ergebnisse auch nur bedingt vergleichbar.

8.4 Literatur

Während der Literaturrecherche stellte sich heraus, dass das Thema Digitalisierung in der Forstwirtschaft derzeit noch in seinen Anfängen steckt. In Fachzeitschriften und auf Messen werden zwar viele Systeme und Softwarelösungen vorgestellt, doch in Fachbüchern und anderen Publikationen ist noch wenig zu finden. Weiterhin scheinen viele der Produkte und Anwendungen auf Unternehmer zugeschnitten zu sein, da diese offensichtlich eher dazu bereit sind, zu investieren und digitale Lösungen zur Optimierung ihres Berufsalltags einzusetzen.

8.5 Überprüfung der Hypothesen

Die anfänglich angenommenen Hypothesen (Kapitel 2.2 Hypothesen) lassen sich alle positiv bestätigen.

1.
 - a) Außeneinsatz ist bei jeder Witterung möglich.
 - b) Das System ist leicht zu bedienen und erfordert keine besondere Ausbildung.
 - c) Das System ist handlich und flexibel einsetzbar.

2.
 - a) Durch den Einsatz von digitalen Planungssystemen wird für alle Beteiligten beim Einlegen von Rückegassen gegenüber der bisher angewandten Methode erheblich Zeit eingespart.
 - b) Planung von Rückegassen ist ortsungebunden und offline möglich
 - c) Kostensenkung ist gegeben

3.
 - a) Die Ergebnisse sind für die Anlage von Rückegassen ausreichend und entsprechen den Anforderungen des Verantwortlichen.

4.
 - a) RoyalFix liefert vergleichbare Positionsdaten bei Folgemessungen.

5.
 - a) Viele andere Anwendungsbereiche der Forstwirtschaft können durch dieses System abgedeckt werden.

Die erzielte Genauigkeit der Positionsdaten ist mehr als hinreichend genau. Andere mit der Kartierung von Rückegassensystemen Beschäftigte sind, laut offizieller Aussage, auch mit der Genauigkeit mittels Tablet ermittelter Koordinaten zufrieden (vgl. Landesforsten Rheinland-Pfalz, S. 19). Inoffiziellen Aussagen zufolge arbeite man aber nur aus Mangel an besserer Technik mit den derzeitigen Mitteln und sei keineswegs mit den erhobenen Positionsdaten zufrieden (Quelle anonym, 26.06.2019). Insgesamt wurde auf den 5. KWF-Thementagen 2019 in Richberg im Laufe vieler Gespräche deutlich, dass viele Akteure dringend nach möglichst genauen, bezahlbaren und handlichen GNSS-Lösungen für den forstlichen Alltag suchen.

Geringe Abweichungen in der Positionsgenauigkeit wären für die meisten forstlichen Nutzer hinnehmbar, da ihnen die Problematik beim Nutzen von GNSS-Systemen im Wald bekannt ist. Auch der Nutzen einer vielseitigen und ausbaufähigen Planungssoftware und digitaler Lösungen für das Aufgabenmanagement leuchtete den meisten unmittelbar ein.

Das NetwakeVision-System bietet zudem den Vorteil, dass alle erfassten Daten in einem Cloud-basierten Serversystem gespeichert werden und damit weiterer Verwendung auch in der Zukunft zugeführt werden können. Sie sind weltweit online abrufbar und eignen sich somit zur Betriebskontrolle in allen Ebenen. Das Portal von NetwakeVision ist eine Schnittstelle, welche die Daten in den unterschiedlichsten Formaten bereitstellt. Dies ermöglicht deren Weitergabe je nach technisch-digitaler Ausstattung des Empfängers.

Die Daten können je nach ihrem Informationsgehalt den passenden Akteuren zur Verfügung gestellt werden, was die Prozessketten im forstlichen Umfeld verkürzt, beschleunigt und optimiert. Daher sind diese Daten als sehr wertvoll anzusehen.

8.6 Handlungsvorschlag für die Rückegassenanlage



Abbildung 22: Markierte Zwangspunkte (eigene Darstellung)

Die Erkundung des Bestandes kann im Voraus im Kartenstudium und beim Auszeichnen des Bestandes erfolgen, da er im Zuge dessen die ganze Fläche begeht und mögliche Zwangspunkte (Wurzelteller, Gräben, usw.) identifizieren und digital markieren kann (siehe Abbildung 22). Dies kann und sollte bei der detaillierten Planung des Rückegassensystems berücksichtigt werden. Dieses Vorgehen wurde beispielhaft (ebenfalls mit dem RoyalFix) auf

einer anderen Fläche durchgeführt. Im Feldversuch wurde bewusst nicht auf mögliche Hindernisse im zukünftigen Rückegassenverlauf geachtet, da dies unter Umständen unbewusst Einfluss auf die Planung genommen hätte.

8.7 Möglichkeiten der Verbesserung des GNSS-Systems

Um die Leistungsfähigkeit eines GNSS-Empfängers unter forstlichen Bedingungen zu erhöhen, wäre es überlegenswert, den Abstrahlungswinkel zu reduzieren. So werden zwar unter Umständen weniger Satellitensignale erfasst, doch die erfassten Signale werden weniger durch den Bestand beeinflusst.

Soll GNSS-Technik serienmäßig auf Maschinen eingesetzt werden, sollte im Vorfeld getestet werden, inwieweit der Kran (und andere Bauteile) eines Harvesters Multipatheffekte verursacht. Die Anbringung sollte so mittig wie möglich am Fahrzeug erfolgen, da schon bei einem leichten Versatz zu einer Seite, die Abweichung bei gegenläufiger Fahrtrichtung deutlich zu beobachten war. Eine Lösung dieser Problematik mit geeigneten Software-Algorithmen wäre denkbar. Laut Krumm sollte die Montage einer externen GNSS-Antenne nicht zu hoch (Schwanken des Objekts), sondern mittig und möglichst so erfolgen, dass der Abstrahlungskegel nicht abgeschattet wird (vgl. Kumm 2000, S. 79ff).

9. Ausblick

Im letzten Teil der Arbeit werden weiterführende Methoden und Ansätze dargestellt. Diese beziehen sich auf weitere Möglichkeiten, Rückegassen anzulegen und weitere Einsatzmöglichkeiten des NetwakeVision-Systems.

9.1 Weitere Möglichkeiten der Rückegassenanlage

Rückegassen möglichst gerade und unter Verwendung von technischen Hilfsmitteln einzulegen ist ein Themenfeld, das in letzter Zeit des Öfteren untersucht wurde. Allein die Tatsache, dass das manuelle Einmessen und Markieren ein erheblicher Zeitfaktor für die Revierleiter darstellt, ist meist Grund genug, nach anderen Möglichkeiten zu forschen. Einer der Ansätze war es, Rückegassen mit Richtlasern zu markieren und den Harvester sich daran orientieren zu lassen. Dies scheint eine gute Lösung für ebene und gleichmäßige Lagen zu sein, doch es gestaltet sich schwieriger, wenn die Maschine beispielsweise in eine Senke fährt. Hinzu kommt, dass die Maschine immer wieder gerade ausgerichtet werden muss, um die Position zu überprüfen. Auch das wiederholte Aufstellen der Richtlaser am Rückegassenanfang und das Einmessen der nächsten Rückegassen (mit Kompass und Maßband) muss noch von Hand erfolgen. Weiterhin muss der Richtlaser bei Unterbrechungen, zum Beispiel über Nacht, abgebaut werden und danach wiederaufgebaut und ausgerichtet werden. Die dazu nötigen Zeiten sind sicher geringer als beim manuellen Einlegen, aber vermutlich immer noch mehr als bei der rein digitalen Rückegassenanlage. Die nach diesem System aufgeschnittenen Rückegassen dürften dafür geradliniger ausfallen als beim Aufschneiden mit GNSS-Unterstützung.

Eine weitere Möglichkeit, das Problem der Positionsbestimmung im Wald zu lösen wäre die Triangulation mit Funksendern, die sogenannte Funkpeilung. Dabei werden Sender auf Stangen (Vermeidung von Abschattung und Reflexion durch Naturverjüngung und Unterwuchs) im Wald eingemessen und sich im Wald bewegende Empfänger können danach ihre Position bestimmen. Das Einmessen ist relativ aufwendig und zeitintensiv und die Ergebnisse schienen nicht zu überzeugen, da die Versuche zeitnah wieder eingestellt wurden (nach Prof. Dr. Jörn Erler im persönlichen Gespräch, 26.06.2019). In anderen Bereichen, wie der Schifffahrt wurde diese Art der Navigation bereits durch GNSS ersetzt. Zum Jahreswechsel 1999 auf 2000 wurden alle europäischen Systeme abgeschaltet (vgl. Kumm 2000, S.13f).

Insgesamt ist die Nutzung von GNSS deutlich anwenderfreundlicher und flexibler als andere Navigationsmethoden, bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass es unter bestimmten Bedingungen nicht die gewünschten Ergebnisse erzielt. Ist der Anwender sich der einschränkenden Faktoren bewusst, kann er diese umgehen oder ausgleichen.

Überlegenswert wäre ein Methodenmix, beispielsweise aus RTK-GNSS- und INS-Systemen (siehe Kapitel 10.3.1), deren Ergebnisse mit Software-Algorithmen miteinander verrechnet werden. Auf ähnliche Weise navigieren beispielsweise diverse militärische Geräte. Krumm empfiehlt, sich bei der Navigation niemals auf nur ein System zu verlassen (vgl. Kumm 2000, S. 76).

9.2 Verwendung von Digitalen Geländemodellen bei der Planung

Eine weitere Möglichkeit die digitale Planung der Feinerschließung, insbesondere die Planung von Rückegassen zu verfeinern, wäre der Einsatz von digitalen Geländemodellen (DGM). Eine besondere Rolle spielen hier die Daten aus dem dreidimensionalen Laserscanning, welche für Baden-Württemberg flächendeckend vorhanden sind.

Bei dreidimensionalem Laserscanning werden Oberflächen flächenhaft dreidimensional mittels kontinuierlicher Laserimpulse vermessen und die Laufzeit der Laserimpulse gemessen. Daraus werden Modelle errechnet. Da dies auch flugzeuggestützt – sogenanntes Airborne Laserscanning (ALS) – möglich ist, können ganze Landschaftsabschnitte erfasst werden, welche zusammengesetzt ein Gesamtmodell ergeben (vgl. Resnik und Bill 2018, S. 245-251; Kohlstock 2018, S. 63f). Andere luftgestützte Vermessungsmethoden stoßen bei geschlossener Vegetation im Aufnahmegebiet schnell an ihre Grenzen, da der darunter befindliche Boden nicht abbildbar ist.

Hauptaufgabe dieser Art der Datengewinnung ist die Herstellung digitaler Geländemodelle, für deren Erstellung zunächst alle Punkte, die nicht auf der Geländeoberfläche liegen, durch Filteralgorithmen herausgerechnet werden. Das heißt, dass beispielsweise alle Gebäude oder die Vegetation nicht mehr im Modell vorhanden sind und nur die Geländeoberfläche zu sehen ist (vgl. Kohlstock 2018, S. 64). Die Daten aus den Laserscans werden zu Digitalen Geländemodellen (DGM) interpoliert. Diese umgangssprachlich als LIDAR-Daten bekannten Karten sind online frei zugänglich

(zum Beispiel unter www.geoportal-bw.de). Sollen die Karten als Layer für die mobile Nutzung, wie in der NetwakeVision-App, eingesetzt werden, müssen allerdings die Rechte erworben werden. Dies ist der Grund, warum es noch nicht mit NetwakeVision in der Praxis erprobt wurde. Die Landesforsten Rheinland-Pfalz nutzen digitale Geländemodelle aus LIDAR-Daten bei der Inventarisierung der bereits vorhandenen Feinerschließung (vgl. Landesforsten Rheinland-Pfalz, S. 18). Die digitalen Geländemodelle bieten jedoch die Möglichkeit, in stark durchschnittenem Gelände oder in Steillagen den Verlauf von Feinerschließungslinien im Voraus zu erkunden, beziehungsweise zu planen. Eine aufwendige Erkundung zu Fuß kann somit minimiert werden.

9.3 Rückegassenplanung mit UAV

9.3.1 Definition UAV

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) ist die englischsprachige Bezeichnung für unbemannte Fluggeräte die sich in den letzten Jahren durchgesetzt hat. Sie werden entweder manuell, semi-automatisch oder automatisch durch eine Fernsteuerung bedient. UAVs können mit verschiedenen Hardware-Optionen bestückt werden, eignen sich hervorragend für die Erstellung von Luftbildern (vgl. DVW-Seminar 2016) und haben im Bereich der Geodäsie an Bedeutung gewonnen. Möglich war dies durch die Entwicklungen und Fortschritte in Avionik, Elektromotoren, Batterietechnik, Auswertesoftware und der Sensorik (vgl. DVW-Seminar 2016, S. 9-25).

Es ist weiterhin möglich UAVs mit GNSS/INS (Global Navigation Satellite System/Inertial Navigation System) zu bestücken. Die zusätzlich zum GNSS eingebauten Inertialsensoren (INS), also Akzelerometer/Beschleunigungssensoren, und Gyroskope/Drehratensensoren werden schon seit Jahrzehnten zur Georeferenzierung von Luftbildern verwendet. Diese Sensoren konnten dank der Entwicklungen der letzten Jahre miniaturisiert werden, genau wie es bei den heutigen GNSS Empfängern der Fall ist (vgl. DVW-Seminar 2016, S. 14f). Die somit erreichte Genauigkeit in der Orientierung reicht allerdings noch nicht für eine direkte Georeferenzierung aus. Erst im Verbund mit RTK (Real Time Kinematic) GNSS wird eine ausreichende Positionsbestimmung erreicht und eine direkte Georeferenzierung ermöglicht (vgl. DVW-Seminar 2016, S. 16ff). Die verbauten objekterfassenden Sensoren, wie beispielsweise Kameras, müssen für photogrammetrische Auswertungen kalibriert sein, was sowohl durch Software als auch manuell möglich ist. Weiterhin müssen sie mit der direkten Georeferenzierungseinheit zeitlich und räumlich synchronisiert sein (vgl. DVW-Seminar 2016, S. 18-21).

9.3.2 Verwendung von UAVs bei der Rückegassenanlage

Sollten UAVs in naher Zukunft in der Lage sein, ihre Position mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln hochpräzise ermitteln zu können, eröffnen sich neue Möglichkeiten. Ein über dem Bestand schwebendes Objekt wird nicht in dem Maße durch Abschattung oder Multipatheffekte bei der Positionsbestimmung beeinflusst wie ein Objekt im Bestand. So wäre es möglich, schwierigere Bestände im Voraus mit dem UAV zu befliegen und den Rückegassenverlauf und Zwangspunkte aus der Luft zu

markieren. Eine Firma im Allgäu praktiziert bereits ein ähnliches Verfahren und plant so ihre Seiltrassen. Allerdings fehlt ihnen noch die Möglichkeit einer präzisen Positionsbestimmung, so dass sie darauf angewiesen ist, nur nach optischen Gesichtspunkten zu planen. Ein nachfolgendes Begehen der Trasse und markieren ist immer noch nötig.

9.4 Mobiler Einsatz des RoyalGPS-Systems

„Wenn du weißt wo du bist, kannst du sein wo du willst.“

(Zitat: unbekannt)

Mit der im Nachfolgemodell des RoyalFix, dem RoyalFix+ ist es jetzt schon möglich, dass dieser zwei anstatt nur einem Mobilgerät (Smartphone/Tablet) per Bluetooth mit Positionsdaten versorgt. Des Weiteren wird die neue Generation von Bluetooth eine deutlich höhere Sendeleistung haben. Denkbar wäre, eine RoyalBase+ außerhalb des Bestandes zu positionieren, wo ausreichender Mobilfunkempfang und freie Himmelsicht gegeben ist, welche dann die Empfängergeräte im Bestand mit Korrekturdaten versorgt. Die RoyalBase+ (auch schon mit RoyalBase möglich) braucht nur eine gewisse Zeit, um sich selbst einzumessen. Sind andere Fixpunkte, wie Trigonometrische Punkte bekannt und in der Nähe verfügbar, kann dies ebenfalls genutzt werden. So könnte die Problematik des fehlenden Mobilfunkempfangs umgangen werden und Korrekturdaten sind aus einer dem Arbeitsgebiet nahen Quelle zu beziehen.

9.5 Flurstücksgenaue Abrechnung

Da es möglich ist, Flurstückskarten als Kartenlayer (siehe Abbildung 21) in der NetwakeVision App zu nutzen, kam Revierleiter Martin Roth auf den Gedanken, dies für die Bewirtschaftung von Kleinprivatwald zu nutzen. Zusammen mit NetwakeVision entwickelte sich daraus die Idee, dass ein GNSS-Empfänger am Harvesterkopf angebracht werden könnte, welcher die Position bei der Ernte eines Baumes erfasst und dieser dann einem Flurstück zugeordnet werden kann. Im Zusammenspiel mit den vom Harvester erfassten Baumdaten (Art, Volumen etc.) können die Eigentümer genauer entlohnt werden. Außerdem würde die aufwendige Holzaufnahme und Abrechnung für den Revierleiter entfallen, welche im Kleinprivatwald ein erheblicher Zeitfaktor ist.

9.6 Forstliche Prozesskette

Grundsätzlich sollten weitere Lösungsansätze entwickelt werden, mit dem Ziel, die Prozessabläufe stetig weiterzuentwickeln (vgl. Becker 2015, S. 26f). Nur so kann das Ziel einer zukunftsfähigen Forstwirtschaft 4.0 erreicht werden. Daten müssen allen Beteiligten in einem vernünftigen Rahmen zugänglich gemacht, fehlende Informationen identifiziert und erhoben, und funktionale Vernetzungssysteme müssen eingerichtet werden.

Auf den Ebenen, auf welchen sich die getroffenen Entscheidungen und neu implizierten Arbeitsverfahren auswirken, gibt es nicht die Möglichkeit, Entscheidungen zu treffen, die zu umfassenden Veränderungen in den Prozessabläufen des gesamten forstlichen Sektors führen. Für eine umfassende Vernetzung von Daten und Informationen ist die Nutzung einer einheitlichen Schnittstelle nötig. Diese muss allen Akteuren im Themenbereich zugänglich sein. Auch der Preis für die genutzten Systeme muss so gestaltet sein, dass beispielsweise Unternehmer in der Lage sind, ein System zumindest teilweise zu finanzieren (App-Zugang). Denn dadurch sind sie in der Lage, Daten des Auftraggebers entsprechend effizient umzusetzen (Beispiel Borkenkäfermanagement).

NetwakeVision stellt eine praxistaugliche, kostengünstige und vielseitige Lösungsvariante dar, dem Ziel einer modernen, digitalisierten Forstwirtschaft 4.0 näher zu kommen. Die Entwicklungssprünge, welche sich im Zeitraum des Entstehens dieser

Arbeit einstellten haben gezeigt, wie flexibel einsetzbar das System ist. Die Basisfunktionen sind leicht zu verstehen und können auf den Nutzer angepasst werden. Anwender, die sich ein wenig mehr mit dem System beschäftigen sind schnell in der Lage, eigene Ideen damit umzusetzen. So können sich die Möglichkeiten zur Anwendung im forstlichen Sektor schnell weiterentwickeln und die Beteiligten der Prozesskette erhalten ein System aus einer Hand.

Anfang des Jahrtausends kam es – ausgelöst durch massive Sturmereignisse – zu einem Mechanisierungsschub in der deutschen Forstwirtschaft. Knapp 20 Jahre später wird nun die Branche mit umfassenden Problemen durch mehrere flächig ausfallende Baumarten konfrontiert. Fortschritt ist bekanntlich immer ein Produkt von schwierigen Verhältnissen.

Dies wäre der geeignete Zeitpunkt, aktiv den Fortschritt einzuläuten und nicht zu warten, dass die Entwicklungen von Anderen ausgeht.

Literaturverzeichnis

Becker, Prof. Dr. h. c. Gero: Industrie 4.0 - ein Fall für Forst-und Holzwirtschaft?

In: *proWald - Magazin des Deutschen Forstvereins* 2015 (3), S. 25–27.

Bischoff, Gerd (Hg.) (2015): Der Forstwirt. 104 Tabellen. Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik. 6., aktualisierte Aufl. Stuttgart: Ulmer. Online verfügbar unter <http://www.vlb.de/GetBlob.aspx?strDisposition=a&strlsbn=9783800184484>.

Dietz, Peter (1984): Walderschließung. Hamburg & Berlin: Parey.

Döring, Steffen (2019): GPS-Genauigkeit im Wald. - mehr als ein Mythos!?
praxisnahe System-Studie auf eigenem Testparcours. WaWi 4.0. HFR, 29.03.2019.

DVW-Seminar - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement;
Seminar "UAV 2016 - Vermessung mit Unbemannten Flugsystemen" (2016).

Beiträge zum 148. DVW-Seminar am 18. und 19. Februar in Bonn. Unter Mitarbeit
von Christian Eling und Lasse Klingbeil. Augsburg: Wißner-Verlag
(Schriftenreihe des DVW, Band 82).

Epple, Rainer; Langmasius, Dorothea (2012): Merkblatt bauliche Maßnahmen zur
Erhaltung der technischen Befahrbarkeit der Rückegassen. Stand Oktober 2012.
Stuttgart, Tübingen: ForstBW; Fachbereich Waldarbeit Forsttechnik und
Erschließung (ForstBW Praxis).

Erler, Jörn: Waldarbeit und Forsttechnik morgen. Analyse und Ausblick unter
technischen und sozialen Aspekten.

In: *proWald - Magazin des Deutschen Forstvereins* 2015 (3), S. 11–13.

Flick, U. (1999): Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in
Psychologie und Sozialwissenschaften. Reinbeck bei Hamburg.

Folz, Kristina; Brauner, Detlef Jürgen; Vollmer, Hans-Ulrich (2015): Studi-SOS
Bachelorarbeit. Erste Hilfe fürs wissenschaftliche Arbeiten. Sternenfels: Verl. Wiss. &
Praxis.

ForstBW; Forstliches Bildungszentrum (2012): Entscheidungshilfe zur Sicherstellung
der dauerhaften Funktionsfähigkeit von Rückegassen im Landesbetrieb Forst BW.
Stand Oktober 2012. Stuttgart, Königsbronn: ForstBW; Forstliches Bildungszentrum
(ForstBW Praxis).

Gelhaus, Rolf; Kolouch, Dieter (1991): Vermessungskunde für Architekten und Bauingenieure. Mit baupraktischen Anwendungen. 1. Aufl. Düsseldorf: Werner.

Gläser, Jochen; Laudel, Grit (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. Als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 4. Aufl. (Lehrbuch).

Hittenbeck, Jörn (2019): Walderschließung: Garant für eine multifunktionale Forstwirtschaft. In: *AFZ Der Wald* (11), S. 7–8.

Hollenberg, Stefan (2016): Fragebögen. Fundierte Konstruktion, sachgerechte Anwendung und aussagekräftige Auswertung. Wiesbaden: Springer VS (essentials). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.

isprs (Hg.) (2004): Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment. Unter Mitarbeit von M. Thies, B. Koch, H. Spiecker, H. Weinacker. Institute for Forest Growth, Dep. of Remote Sensing and Landscape Information Systems, University of Freiburg. Freiburg (Volume XXXVI, Part 8/W2).

Kieser, Werner; Forstliches Bildungszentrum Königsbronn (2019): Antwort Rückegassen anlegen, 09.01.2019. E-Mail an Florian Krepela.

Kohlstock, Peter (2018): Kartographie. Eine Einführung. 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Paderborn: Ferdinand Schöningh (utb-studi-e-book, 2568). Online verfügbar unter <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838549194>.

Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier (Hg.) (1998): Harvester. Holzernte in der Durchforstung. Organisation Planung Durchführung. Unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Wilfried Pröll, Ing. Siegfried Sperrer, Dipl.-Ing. Dr. Stefan Trzesniowski.

Krepela, Florian (14.12.2018): Experteninterview Einsatzleiter Maschinenbetrieb. Interview mit Einsatzleiter Maschinenbetrieb Schrofel. Baiersbronn.

Krepela, Florian (04.01.2019): Experteninterview Maschinist. Interview mit Manuel Dieing. Daisendorf.

Kumm, Werner (2000): GPS, global positioning system. 6., neu bearb. Aufl. Bielefeld: Delius Klasing (Yacht-Bücherei, Bd. 102).

Landesforsten Rheinland-Pfalz: Erschließungsplanung. Digitale Dokumentation der Feinerschließung im betrieblichen GIS (WaldIS-rlp) am Beispiel des Nationalpark Hunsrück-Hochwald.

In: *AFZ Der Wald* 2019 (11 Sonderheft 5. KWF-Thementage), S. 18–19.

Landtag von Baden-Württemberg (30.05.2018): Stellungnahme des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (Drucksache 16/4181. Schutz der Waldböden und Schonung der Waldwege im Land. MdL Hauk.

Linke, Wolfgang (2005): Orientierung mit Karte, Kompaß, GPS. 12., überarb. Aufl. Herford: Busse Seewald.

Mansfeld, Werner (2004): Satellitenortung und Navigation. Grundlagen und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme. 2., überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag.

Mansfeld, Werner (2010): Satellitenortung und Navigation. Grundlagen, Wirkungsweise und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme ; mit 65 Tabellen. 3., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Praxis).

Mayer, Horst O. (2013): Interview und schriftliche Befragung. Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung. 6., überarb. Aufl. München: Oldenbourg (Sozialwissenschaften 10-2012).

Online verfügbar unter <http://www.oldenbourg-link.com/isbn/9783486706918>.

Mayring, Philipp (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 5., überarb. und neu ausgestattet Aufl. Weinheim u.a.: Beltz (Beltz Studium : Erziehung und Bildung).

MLR BW (1984): Richtlinien zur Walderschließung 1984. Stuttgart.

MLR BW (2003): Richtlinie Feinerschließung. Stuttgart.

Organisation in der Forstwirtschaft. Mit REFA-Methoden zu effizienten Arbeitsprozessen (2004). 2., überarb. Aufl. Darmstadt: Verband für Arbeitsgestaltung Betriebsorganisation u. Unternehmensentwicklung (REFA-Fachbuchreihe Arbeitsgestaltung).

Osterloh, Horst (1988): Vermessungstechnik für Garten-, Landschaftsbau und Forstwesen. Mit Instrumentenkunde. 2., neubearb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Bauverl.

Penninkhof, Hendrik; Putman, Shardon (2015): Dauerhafte Feinerschließung-Bestandesschonened oder nicht. Ein Vergleich zwischen Waldbeständen mit und ohne dauerhafte Rückegassen.

Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg.

Polaczek, Klaus (2000): Das Global Positioning System (GPS) – Neue Perspektiven für das forstliche Arbeitszeitstudium. In: *Mitteilungsblatt des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF)* (5), S. 37–48.

Resnik, Boris; Bill, Ralf (2018): Vermessungskunde für den Planungs-, Bau- und Umweltbereich. 4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Offenbach: Wichmann.

Rumsey, Deborah (2012): Statistik für Dummies. 2nd ed. Weinheim: Wiley (Für Dummies). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1120297>.

Scheuber, Matthias (o.J.): Grundlagen der Statistik. Vorlesungsbegleitendes Skrip. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg. Angewandte Datenverarbeitung in der Forstwirtschaft.

Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser, Elke (2011): Methoden der empirischen Sozialforschung. 9., aktualisierte Aufl. München: Oldenbourg.

Schraitle, Martin (2018): Auswirkungen der kartenmäßigen Erfassung von Erntebäumen im Plenterwald auf die Geolokalisation der Forstwirte bei der Baumaufsuche. Ein Feldversuch mit dem digitalen Auszeichnungstool "LogBuch". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg; HFR, Rottenburg. Forsttechnik und Waldarbeitslehre.

Waas, Stefan (2017): Feinerschließung. Rückegassen und Rückewege. Freising: LWF (Merkblatt / Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft, 38).

Wiech, Cristian; Lang, Florian (2015): Erfassung von Rückegassen mittels Laserentfernungsmesser, elektronischem Kompass und DGNSS. Projektarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg. GIS und Landschaftsmanagement.

Wolff, Dirk (2015): Holzernte und Logistik. (FH.12.1). Skript. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg.

www.netwakevision.com. Hg. v. Marcel Ruff. Online verfügbar unter <https://www.netwakevision.com/>, zuletzt geprüft am 19.08.2019Uhr.

www.royal-gps.com: Internetauftritt RoyalGPS. Hg. v. Marcel Ruff. Online verfügbar unter <http://www.royal-gps.com/>, zuletzt geprüft am 17.08.2019Uhr.

www.waldkritik.de: Internetauftritt der Initiative Waldkritik. Hg. v. Dr. Andreas Luther. Online verfügbar unter <https://waldkritik.de/>, zuletzt geprüft am 17.07.2019.

Anhang

Anhang 1 Interviewleitfaden Einsatzleiter Maschinenbetrieb

Eröffnungsphase:

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit befasse ich mich mit dem Einlegen von Rückegassen in Erstdurchforstungsbeständen nach herkömmlicher, standardisierter Methode im Vergleich mit Einsatz digitaler Möglichkeiten unter Verwendung der Planungssoftware NetwakeVision.

Besonders interessiert mich dabei, ob durch den Einsatz digitaler Hilfsmittel – wie der hier verwendeten Planungssoftware NetwakeVision – der personelle, zeitliche und somit finanzielle Aufwand minimiert werden und die Ergebnisse vergleichbar sind.

Voraussetzung dazu ist die eindeutige Definition der bisherigen Methodik beim durchzuführenden Arbeitsvorgang. Dazu soll durch Expertenbefragung die am häufigsten genannte Arbeitsmethode als Standard Verwendung finden.

Der Bestand, in welchem die Versuche stattfinden, ist eine zur Erstdurchforstung anstehende Sturmwurflläche (Lothar 1999) mit unter 5% Gefälle von Nord nach Süd. Der Großteil der Fläche ist eine geschlossene Dickung mit Stangenholz an mehreren Orten sowie Buchen-Altbestandsresten im Norden und Süden.

Zusätzlich zur Naturverjüngung wurden Lärchen, Fichten, Douglasien, Stieleichen und sonstige Laubbäume ergänzend in einem Schachbrettmuster gepflanzt.

Ich würde gerne Ihre Methode zum Einlegen von Rückegassen in einem Erstdurchforstungsbestand kennenlernen. Sollte dies von der gängigen Lehrmeinung abweichen, bitte ich Sie, mich darauf aufmerksam zu machen. Bitte erzählen Sie mir alles, was aus Ihrer Sicht wichtig ist.

Ich werde Sie nicht unterbrechen und mir – falls Fragen meinerseits aufkommen - Notizen dazu machen, um später darauf zurückkommen zu können.

Haben Sie noch Fragen bevor wir beginnen?

Erzählstimulus	Check	Nachfragen
<ul style="list-style-type: none"> • Wie würden Sie im beschriebenen Bestand eine Rückgasse einlegen? • Beschreiben Sie bitte das von Ihnen bevorzugte Verfahren. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuelle Vorarbeiten • Verwendete Hilfsmittel • Personalansatz • Vorgehensweise • Ungefährer Zeitanatz pro lfm 	<ul style="list-style-type: none"> • Sind dafür Vorarbeiten nötig? • Welche Hilfsmittel benötigen Sie hierzu? • Wie viele Personen werden für ein optimales Ergebnis benötigt? • Wie wird dabei vorgegangen? • Haben sie eine ungefähre Vorstellung, wie viel Zeit dabei pro lfm benötigt wird?

Anhang 2 Transkription des Experteninterviews Einsatzleiter Maschinenbetrieb Schrofel

Interviewer (I): Florian Krepela
 Datum: 14.12.2018 Dauer: 10:32 Min
 Ort/ Räumlichkeit: Baiersbronn
Befragter (B):
 Name: auf Wunsch des Interviewten anonym
 Ausbildung: Forstwirtschaftsmeister
 Beruf/ Berufsstatus: Einsatzleiter Maschinenbetrieb

1 **I:** Wie würden Sie im beschriebenen Bestand eine Rückegasse einlegen? Bitte
2 beschreiben Sie das von Ihnen bevorzugte Verfahren.

3 **B:** Ich denke jetzt mal nicht wirklich, dass Vorarbeiten nötig sind. Also ebene Lagen,
4 in diesem Fall würde ich ganz sicher mit dem Kompass die Rückegassen einlegen.
5 Nach heutigem Stand wünschen würde ich mir natürlich ganz klar, dass das einfach
6 auf eine digitale Art und Weise durchzuführen. Optimal, wenn ich jetzt hier diesen
7 Bestand so sehe oder höre - denke ich ist - wäre es am einfachsten, wenn man über
8 eine digitale Karte diese Rückegassen markieren könnte und dass man nachher
9 durchläuft das letztendlich auf den Harvester überspielen könnte. Das wäre für mich
10 jetzt eigentlich das Optimalste und würde mit Sicherheit auch am schnellsten gehen.

11 **I:** Wenn Sie es manuell machen müssten, führen sie dann Vorarbeiten durch bevor
12 Sie in den Bestand gehen?

13 **B:** Klar, Karte ausdrucken. Davon gehe ich jetzt einmal aus, dass es grundsätzlich so
14 ist. Aber ich würde hier jetzt wirklich keine Vorarbeiten, nein.

15 **I:** Welche Hilfsmittel benötigen Sie?

16 **B:** Gut, also mal grundsätzlich würde ich sowas wahrscheinlich zu zweit einlegen. Ich
17 bräuchte unter Umständen sogar auch mal eine Motorsäge, eine kleine, um mir den
18 Weg freizusägen. Diese Erfahrung haben wir einfach gemacht, weil zum Teil ist
19 wirklich so dicht, dass man nicht einmal richtig gehen kann und deswegen denke ich,
20 da ist eine Motorsäge dann auf jeden Fall notwendig. Auf jeden Fall zu zweit, eine
21 Motorsäge müsste dabei sein, also eine Kleine, um nicht auch noch viel Gewicht mit
22 herumzutragen und dann wirklich mit Kompass und unter Umständen mit Peilstäben.

23 **I:** Wie würden Sie genau vorgehen?

24 **B:** Also erst einmal orientieren an einem Fahrweg, Maschinenweg, was auch immer
25 gerade da ist und dann mit dem Maßband die 40 Meter Mitte anzeichnen und wie
26 gesagt eigentlich an dem Fahrweg oder Maschinenweg einfach mal die Marschzahl
27 nehmen und dann wirklich parallel bei der Gasse Eins beginnen. Was natürlich immer
28 von Vorteil ist und da hat ein Revierleiter natürlich einen Vorteil der, ich sage jetzt mal
29 20, 30 Jahre auf dem Revier ist, der gegebenenfalls sogar bei Lothar dabei war – es
30 ist ja eine Lotharfläche – der also gewisse Vorkenntnisse hat. Der weiß ganz genau,
31 da kommt irgendwo da drin ein Tümpel oder irgendwelche sonstige Steine oder
32 Steinblöcke oder so. Das ist natürlich von Vorteil. Aber wie gesagt, ich würde einfach

33 einmal systematisch anfangen bei Gasse Eins, Zwei, Drei und mich dann da
34 durcharbeiten.

35 **I:** Wie viel Zeit schätzen Sie, brauchen Sie, um 100 lfm Rückegassen einzulegen?

36 **B:** Das ist jetzt schwierig. Das kommt natürlich darauf an, ob man extrem lange
37 Gassen am Stück einlegen muss. Dann ist das – sag ich mal – ein bisschen anders zu
38 bewerten wie, wenn ich nur 100 Meter habe zum Beispiel. Ich gehe jetzt mal von einer
39 Gassenlänge von 100 Meter aus. Auf 100 Meter, da brauche ich bestimmt eineinhalb
40 Stunden. So im Schnitt würde ich jetzt mal sagen. Das geht in Teilen schneller, wo
41 gepflanzt wurde, wo man im Prinzip ein bisschen mehr Luft hat, ein bisschen mehr
42 Licht. Aber wo es richtiger Bürstenwuchs gibt, da brauche ich viel Zeit. Ich muss ja
43 gegebenenfalls auch mal mit der Motorsäge sägen. Also da würde ich jetzt wirklich mal
44 sagen, auf die 100 Meter, bestimmt eineinhalb Stunden. Wahrscheinlich Richtung Zwei
45 Stunden eher.

46 **I:** Könnten Sie sich vorstellen mit einem digitalen System zu arbeiten beim Einlegen
47 von Rückegassen?

48 **B:** Ja, auf jeden Fall. Ganz dick unterstrichen.

49 **I: Gibt es einen Aspekt, den ich vergessen habe zu erwähnen, der noch wichtig
50 ist für diese Art des Einlegens?**

51 **B:** Nein, eigentlich nicht. Ich komme vielleicht eher nochmal darauf, was die
52 Vorbereitung angeht. Habe ich vielleicht vorher ein bisschen vergessen. Es ist
53 tatsächlich mal eine Fläche erschließen muss, gehe ich in mein InfoGIS rein und hol
54 mir im Prinzip einmal ein Luftbild. Weil da kann man nämlich auch relativ viel erkennen.
55 Gibt es irgendwelche Kahlflächen da drinnen, gibt es einen See, gibt es Gräben oder
56 irgendwelche Hindernisse, die man da berücksichtigen muss? Also das wäre jetzt zum
57 Beispiel das erste, was ich in diesem Fall tun würde. Das habe ich am Anfang
58 vergessen. Wenn ich also wirklich so eine Fläche so von Null erschließen muss, dann
59 hol ich mir wirklich einmal ein Luftbild heraus was ein ganz großer Vorteil ist. Das geht
60 dann schon ins digitalisieren, deswegen komme ich da jetzt darauf. Wegen der letzten
61 Frage. Da kann man wirklich schon manche Gassen erkennen. Oder selbst wenn man
62 jetzt so wirklich einmal darüber läuft, da sieht man vielleicht noch gar nichts. Aber von
63 der Draufsicht kann man schon so bisschen erkennen, Mensch, da muss einmal etwas
64 gewesen sein. Ansonsten fällt mir da jetzt gerade auch nicht mehr ein.
65 Also was ich... Das ist eine Vision sage ich einmal. Was ich mir am allerbesten

66 vorstellen könnte, vor allem wenn Hangflächen erschlossen werden und da gibt es ja
67 im Prinzip Kurven darinnen und wenn dann Rückegassen oben nur so bei Zehn Metern
68 Abstand sind und unten sind wir dann bei 45 bis 50 Meter auseinander. Das könnte
69 man natürlich auch auf einer ebenen Lage anwenden. Aber wenn das gehen könnte,
70 dass man im Prinzip wirklich oben die 20 Meter und unten die 50 misst und, dass es
71 ein Programm gibt, das die einzelnen Punkte dann verbindet. Das wäre die Vision für
72 das Hangübergangsgelände, wo ich dann sage, ok, dann lasse ich mir das von dem
73 Programm schon einmal in die Karte einzeichnen und ich muss nachher nur noch
74 abgehen; funktioniert es oder funktioniert es nicht? Verstehen Sie wie ich meine? Es
75 ist im Prinzip einfach so, dass es vom Gelände her so Klingen und Tobel gibt, die es
76 notwendig machen, dass einfach keine 40 Meter durchgängig möglich sind. Das wäre
77 für mich etwas, was wirklich eine Erleichterung wäre. Und dann eben wie mit so einem
78 System wie von Martin Roth da unten, dass ich dann wirklich mit meinem Tablett laufe
79 und ich habe da meinen Cursor, ok, jetzt komm ich grad ab und dann mache ich
80 einfach meine Striche. Also das würde... Dann könnte ich auf Hilfsmittel, wie
81 Fluchtstäbe und so weiter verzichten. Das wäre so die Vision für mich. Es wäre deutlich
82 günstiger und ginge deutlich schneller. Und es ist ja einfach so, wenn ich dann
83 Rückegassen einlege, die nicht parallel sind, kann ich ja oben nie so ganz genau
84 einschätzen, habe ich jetzt genau die Richtung, die ich gehen muss. Dann quasi
85 komme ich unten bei 70 Meter heraus. Abstand. Und dann muss ich quasi noch einmal
86 neu beginnen, mit neu abstecken und so weiter und so fort. Selbst wenn ich den
87 Kompass als Hilfsmittel habe. Aber so hätte ich dann wirklich eine deutliche
88 Zeitersparnis und muss nicht fünfmal den Hang hoch; rauf und runter rennen. Ich habe
89 dann wirklich auch die Gassen da. Das wäre also so die Vision oder der Wunsch für
90 mich, dass es in diese Richtung gehen könnte oder sollte.
91 **I: Dann bedanke ich mich für Ihre Zeit und Hilfe.**
92 **B: Gerne.**

Anhang 3 Interviewleitfaden Maschinist

Eröffnungsphase:

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit befasse ich mich mit dem Einlegen von Rückegassen in Erstdurchforstungsbeständen nach herkömmlicher, standardisierter Methode im Vergleich mit Einsatz digitaler Möglichkeiten unter Verwendung der Planungssoftware NetwakeVision.

Besonders interessiert mich dabei, ob durch den Einsatz digitaler Hilfsmittel – wie der hier verwendeten Planungssoftware NetwakeVision – der personelle, zeitliche und somit finanzielle Aufwand minimiert werden und die Ergebnisse vergleichbar sind.

Der Bestand, in welchem die Versuche stattfinden, ist eine zur Erstdurchforstung anstehende Sturmwurffläche (Lothar1999) mit unter 5% Gefälle von Nord nach Süd. Der Großteil der Fläche ist eine geschlossene Dickung mit Stangenholz an mehreren Orten sowie Buchen-Altbestandsresten im Norden und Süden.

Zusätzlich zur Naturverjüngung wurden Lärchen, Fichten, Douglasien, Stieleichen und sonstige Laubbäume ergänzend in einem Schachbrettmuster gepflanzt.

Sie haben nun die mithilfe von NetwakeVision eingelegten Gassen aufgeschnitten. Mich interessieren Ihre differenzierten Eindrücke, die Sie dabei gesammelt haben.

Ich werde Sie nicht unterbrechen und mir – falls Fragen meinerseits aufkommen - Notizen dazu machen, um später darauf zurückkommen zu können.

Haben Sie noch Fragen bevor wir beginnen?

Erzählstimulus	Check	Nachfragen
<ul style="list-style-type: none"> • Wie stellte sich die Arbeit mit NetwakeVision für Sie dar? 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorbereitung des Harvesters • Probleme/Verzögerungen, die auf Hard- oder Software zurückzuführen sind 	<ul style="list-style-type: none"> • Wie wurde Ihr Harvester auf die Arbeit vorbereitet? • Ergaben sich daraus Probleme oder

	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeiterschwernis durch NetwakeVision • Bevorzugte Methode • Andere Aspekte 	<p>Verzögerungen während der Arbeit selbst?</p> <ul style="list-style-type: none"> • War es umständlicher, mit NetwakeVision zu arbeiten, als bei der konventionellen Methode? • Welche Methode bevorzugen Sie? • Gibt es einen Aspekt, den ich vergessen habe?
--	---	--

Organisatorisches:

Darf ich Sie namentlich nennen oder wäre es Ihnen lieber, anonym zu bleiben?

Die Tonaufnahme ist nur für mich und wird nach der Transkription gelöscht.

Verwendetes Gerät:

Tiger 20	Gremo 1050R
Daten: Gesamtgewicht: 21 t (inkl. Aggregat) Für Feuchtfächen und Hanglagen optimiert Mittlere bis starke Durchforstungen 0,49 kg/cm ² Bodendruck Maschinenbreite 2.800 mm (passend zu Gremo950R) 15,4 m Kranreichweite 70-80 % Steigfähigkeit Logmax5000 Max. 63 cm Fälldurchmesser Inkl. Mehrbaumsammler	Daten: Leergewicht 12 t Zuladung 12 t Für Durchforstungen und Endnutzungen Bereifung 700 mm Moorband 2 x ECO Magnum 10 m Kranreichweite Krantilt 60-70 % Steigfähigkeit

Anhang 4 Transkription des Experteninterviews Maschinist

Interviewer (I): Florian Krepela
Datum: 04.01.2019 **Dauer:** 7:53 Min
Ort/ Räumlichkeit: Daisendorf
Befragter (B):
Name: Manuel Dieing
Ausbildung: Konstruktionsmechaniker bei HSM
Beruf/ Berufsstatus: Leitung Einschlag, Gebr. Dieing GbR

1 I: Wie wurde der Harvester für die Arbeit vorbereitet?

2 **B:** Mit diesem Sensor und mit meinem Tablet, mit dem Programm von Herrn Roth.
3 Das war es eigentlich schon. Und dann haben wir eigentlich direkt angefangen diese
4 Gassen einzulegen. Von Anfang an hat es eigentlich funktioniert.

5 **I:** Gab es denn Probleme oder Verzögerungen, die auf die Hard- oder Software
6 zurückzuführen sind?

7 Einmal habe ich vergessen das Tablet rechtzeitig wieder einzustecken. Das führte zu
8 einer Verzögerung, weil es nicht einsatzbereit war. Und halt an der einen Ecke im
9 Bestand diese Sprünge vom Cursor. Ansonsten hatte ich keine Probleme.

10 **I:** Gab es irgendwelche Arbeiterschwernisse oder war es umständlicher mit
11 NetwakeVision zu arbeiten?

12 **B:** Einmal einen kurzen Versatz darin gehabt, wahrscheinlich weil ich kurz keine
13 Verbindung gehabt habe oder... Ich weiß nicht an was es lag. Aber sonst produktiver
14 meiner Meinung nach. Also ich konnte kontinuierlicher, schneller durchfahren, weil
15 ich nur einen kurzen Blick auf mein Tablet hatte, ok, ich bin in meiner Linie und dann
16 kann ich weiter, weiter, weiter schaffen. Wenn es jetzt ausgezeichnet ist, dann ist es
17 halt einfach... dann muss ich wieder da schauen oder muss aussteigen, weil ich es
18 nicht sehe. Weil zum Beispiel ein ziemliches Gestrüpp vor mir ist und das dahinter
19 angezeichnet ist. Wenn ich es auf dem Tablet hab, dann kann ich direkt meine Linie
20 fahren. Also ich finde es gut, ja. Es war keinesfalls umständlicher, sondern eher
21 leichter, weil ich ja sowieso mein Blickfeld immer zum Computer habe. Das Tablet ist
22 dann sowieso im Augenwinkel. Und selbst wenn das mal nicht so funktioniert wie es
23 soll – das macht meine Maschine ja auch – dann habe ich das irgendwann raus und
24 kann es ausgleichen. Komplett blind sollte man eben auch nicht fahren und auch mal
25 rausschauen. Und das mache ich ja auch bei der normalen Methode so. Und da
26 sogar noch viel öfter.

27 **I:** Was wäre Ihre bevorzugte Arbeitsmethode? Im Gelände markierte Gassen oder
28 digital eingelegte?

29 **B:** Ja dann lieber neu. Allein dadurch, dass ich auch nachts fahren kann. Insgesamt
30 wird es produktiver. Oder in der Frühe... Im Winter... Haupteinschlagszeit... morgens
31 um Sechs ist es eben immer noch dunkel und da kann man dann einfach loslegen.

32 **I:** War denn die Orientierung im Umfeld der Hiebsfläche insgesamt besser durch den
33 Überblick, den die Anwendung bietet?

34 **B:** Man sieht eben nicht nur einen Kartenausschnitt. Ich weiß eben eher, wo genau
35 ich bin oder habe eben ein Gefühl dafür. Das ist auch noch ein Vorteil. Ich weiß
36 genau, wenn ich da unten rausfahre, dann ist da der Weg und da geht dann die
37 nächste Gasse rein. Wenn ich morgens immer im Dunkeln ankomme, verliert man
38 gern mal den Überblick. Das Übersichtliche ist auch noch so ein Vorteil.

39 **I:** Wurde Zeit eingespart?

40 **B:** Ja, definitiv. Definitiv. Also da kann man selbständig arbeiten. Klar, die Kontrolle,
41 mal auszusteigen und zu schauen... komplett auf Digital verlassen geht natürlich
42 auch nicht. Die Kontrolle braucht man dann auch immer. Aber meiner Meinung nach
43 ist es die Zukunft und es hat ja funktioniert. Solche Sachen, wie die Halterungen
44 befestigen würden ja in Zukunft wegfallen.

45 **I:** Bringt es wirtschaftliche Vorteile?

46 **B:** Definitiv. Diese Anschaffung ist schnell wieder drin. Auf jeden Fall.

47 **I:** Gibt es irgendwelche Aspekte, die wir noch nicht erwähnt haben?

48 **B:** Ich kann selbständig morgens um Fünf anfangen. Da ist es noch stockdunkel und
49 ich kann Gassen einlegen. Wirklich nach dem System arbeiten, ohne dass ich da
50 schauen muss. Zum Beispiel erstmal die Gasse und wenn es dann heller wird, auf
51 dem Rückweg die Durchforstung. Und das alles, ohne dass mir das jemand zeigen
52 muss wo die nächsten Gassen oder Bestände sind. Das sind ja ein Haufen Vorteile.
53 Es ist ja nicht nur, dass die Gassen jetzt da drin sind, sondern... Ich brauche nicht
54 warten bis der Förster mir einen neuen Kartenausschnitt bringt und sagt, dass ist in
55 der Richtung. Ich sehe gleich die Entfernung; weiß ob ich da einen Tieflader brauche.
56 Einfach auch die Stillzeiten, die bleiben einfach liegen.

57 Bis jetzt ist es auch ein Alleinstellungsmerkmal. Bis jetzt hat das keiner. Wenn ich
58 jetzt sage, ich kann die Gassen so einlegen und dann fahren. Eine
59 Fichtennaturverjüngung ist ja quasi unbegebar. Hier kommt man ja noch durch,
60 durch den Bestand. Also sag ich, pass auf, ich könnte das direkt fahren. Also wenn
61 ich das System jetzt selbst hätte. Mit dem Ding ist das ja keine Zauberei. Ich
62 bräuchte eben noch eine Basisstation. Aber die gibt es ja anscheinend auch mobil.
63 Dann kann ich überall fahren. Auch in Südtirol. Also ich bin überzeugt davon, das ist
64 die Zukunft.

65 Wenn ich jetzt noch das ganze so sehen würde wie in einem Navi, dann wäre es
66 leichter. Dann müsste ich nicht umdenken, sondern könnt einfach auf der Linie

67 fahren. Weil, wie gesagt, mein Blick ist trotzdem zum Computer, wegen der Länge,
68 Aushaltung und allem Drum und Dran. Wenn da also das Tablet daneben ist und ich
69 eine gerade Linie habe... Das ist idiotensicher eigentlich.
70 Ich sehe halt einfach das Wirtschaftliche. Rein in die Maschine und dann einfach
71 zehn Stunden durch, wenn man so Gassen einlegt. Gasse für Gasse. Da kann es
72 dunkel sein, da kann es nebelig sein, da kann das Wetter sein wie es will. Ich muss
73 nicht schauen, wo ist jetzt der Strich.

Anhang 5 Definition Ablaufabschnitte

Anhang 5.1 Ablaufabschnitte manuelles Verfahren

Ablaufabschnitt		Messpunkt	Bewegungselement
Auf- u. Abrüsten	Beginn	Öffnen Kofferraum	Hand an Kofferraumgriff
	Ende	Kofferraum geschlossen	Kofferraumgriff losgelassen
Weg zu Beginn	Beginn	Endpunkt Rüsten	Gehen
	Ende	Fluchtstab steckt an 1. Messpunkt	stehen, Fluchtstab gesetzt
Ausrichtung festlegen	Beginn	Ende Weg zu Beginn	Orientieren auf Karte
	Ende	Gassenausrichtung festgelegt	Karte weggesteckt
Einlegen	Beginn	Ende Ausrichtung festlegen/Einmessen	Fluchten und Markieren
	Ende	Letzter Punkt Rückegasse erreicht	Drehung um 90°
Einmessen Gassenanfang neu	Beginn	Ende Einlegen	Drehung um 90°
	Ende	Gassenanfang eingemessen, Fluchtstab steckt	
Weg zu Auto	Beginn	Endpunkt Einlegen (letzter Punkt)	Fluchtstab herausgezogen
	Ende	Auto erreicht	Hand an Kofferraumgriff
Verteilzeit	Beginn	Arbeit unterbrochen	
	Ende	Arbeit wieder aufgenommen	

Anhang 5.2 Ablaufabschnitte digitales Verfahren

Ablaufabschnitt Messpunkt			Bewegungselement
Auf- u. Abrüsten	Beginn	Öffnen Kofferraum	Hand an Kofferraumgriff
	Ende	Kofferraum geschlossen	Kofferraumgriff losgelassen
Weg zu Beginn	Beginn	Endpunkt Rüsten	Gehen
	Ende	Ausgangspunkt erreicht/festgelegt	stehen
Fläche eingrenzen	Beginn	Auswahl Tool "Fläche"	Stift berührt Tablett
	Ende	Eingrenzung gespeichert	Fläche gespeichert
Startgasse einlegen	Beginn	Auswahl Tool "Polygonzug"	Stift berührt Tablett
	Ende	Eingrenzung gespeichert	Eingrenzung gespeichert
Gassen erzeugen	Beginn	Auswahl Tool "RG generieren"	Stift berührt Tablett
	Ende	Eingrenzung gespeichert	Gassen gespeichert
Weg zu Auto	Beginn	Endpunkt Einlegen (letzter Punkt)	Fluchtstab herausgezogen
	Ende	Auto erreicht	Hand an Kofferraumgriff
Verteilzeit	Beginn	Arbeit unterbrochen	
	Ende	Arbeit wieder aufgenommen	

Anhang 6 Zeitaufnahmebögen

Anhang 6.1 Manuelles Einlegen

Projekt	Manuell	Datum	05.12.2018	Blatt-Nr. 1
Forstamt		Revier		Ort
Zeitnehmer	M. Roth	Gehilfe		Arbeiter: M. Schraitle, F. Krepela
Beginn	11:50 Uhr	Ende	14:18 Uhr	
Sollzeit		Ist-Zeit		Fehlerprozent

Zyklus	lfm	Abschnitt	Uhrenstand	Differenz	Kontrollzeit	Bemerkungen
1	90	Rüsten	00:01:07	00:01:07		
		Weg z. Beginn	00:02:52	00:01:45		
		Richtung festlegen	00:08:04	00:05:12	11:55 Uhr	
		Einlegen	00:19:18	00:11:14		Zaunlinie, kaum Hindernisse
		Verteilzeit	00:21:46	00:02:28		Austreten
2	99	Neuer Gasseanfang	00:24:44	00:02:58	12:13 Uhr	Auf Pfad, kaum Hindernisse
		Einlegen	00:45:46	00:21:02		Bestand hindernisreich, starke Sichtbehinderung Bewuchs
		Verteilzeit	00:47:40	00:01:54		Orientierung auf Fläche, Material sortieren
3	102	Neuer Gasseanfang	00:54:20	00:06:40		90° Winkel im dichten Bestand einlegen
		Einlegen	01:21:10	00:26:50	13:08 Uhr	starke Sichtbehinderung Bewuchs
		Verteilzeit	01:23:02	00:01:52		Orientierung auf Fläche
4	177	Neuer Gasseanfang	01:30:57	00:07:55		
		Einlegen	01:49:30	00:18:33		starker Bodenbewuchs, Quellhorizont
		Verteilzeit	01:50:47	00:01:17		Orientierung auf Fläche

		Einlegen	02:13:44	00:22:57		Fichtendickung, starke Sichtbehinderung, viele Bodenhindernisse
		Verteilzeit	02:22:14	00:08:30		Absprache
		Weg z. Auto	02:25:21	00:03:07		
		Rüsten	02:26:56	00:01:35	14:18 Uhr	
	468			02:26:56		

Anhang 6.2 Digitales Einlegen

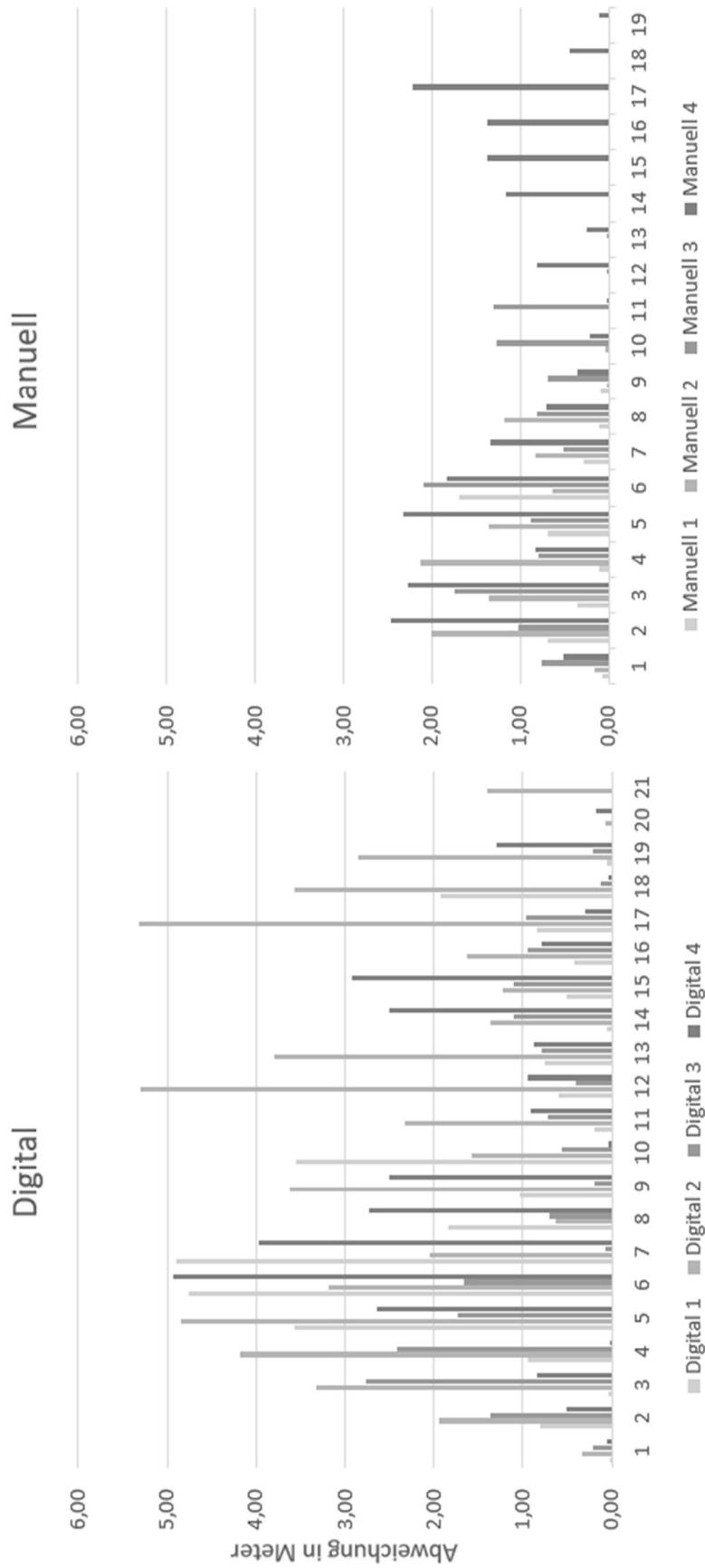
Netwake-			
Projekt	Gassen	Datum	05.12.2018 Blatt-Nr. 1
Forstamt		Revier	Ort
Zeitnehmer	F. Krepela	Gehilfe	M Arbeiter M. Roth
Beginn	14:38 Uhr	Ende	14:51 Uhr
Sollzeit		Ist-Zeit	Fehlerprozent

Zyklus	Ifm	Abschnitt	Uhrenstand	Differenz	Kontrollzeit	Bemerkungen
1		Rüsten	00:01:07	00:01:07		Aussteigen, Gerät auspacken u. anschalten
		Wegzeit	00:03:09	00:02:02		Aufsuchen Startpunkt an Fläche
		Fläche eingrenzen	00:07:19	00:04:10	14:45 Uhr	Anlegen, Beschriften
		Startgasse	00:08:54	00:01:35		
		Gassen erzeugen	00:09:10	00:00:16		Vier Stück
		Wegzeit	00:11:48	00:02:38		
		Rüsten	00:13:18	00:01:30		
				00:13:18		

Anhang 7 Luftbilder



Anhang 8 Abweichungen Rückegassen



Anhang 9 GNSS-Parcours

Hintergrundkarte: ESRI Basemaps

GNSS-Parcours HFR



Anhang 10 Technische Daten

Anhang 10.1 Technische Daten RoyalFix

Name	RoyalFix
Hersteller	NetwakeVision
Abmessung	200 x 165 x 36 mm
Gewicht	300g
Staub & Wasser	IP53 Sprühwasser
Temperaturbereich	-20°C bis +50°C
Kommunikation	Bluetooth V2.0 10m
GNSS Ortung	GPS, GLONASS, BeiDou, RTK. 72 Kanal
Genauigkeit FIX	2,5cm CEP**
Genauigkeit FLOAT	ca. 40cm
Genauigkeit offline	2,5m CEP**
Kapazität	2800mAh, 20 Stunden
Laden Qi Wireless	5W 6 h
Integrierte Antenne	Aktiv GPS/GLONASS

Anhang 10.2 Technische Daten RoyalBase

Name	RoyalBase+
Hersteller	NetwakeVision
Abmessung	220 x 220 x 60 mm
Gewicht	660g
Staub & Wasser	IP53 Sprühwasser
Temperaturbereich	-30°C bis +60°C
Kommunikation	LAN, WLAN, opt. LTE, BLE
GNSS Ortung	GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo
	Bänder L1 / L2C / E5b
	RTK-RTCM 3.3
Genauigkeit FIX	Ermöglicht 14mm CEP**
RTCM 3.3	1005, 1074, 1077, 1084, 1087, 1094, 1097, 1124, 1127, 1230
Ladestrom	230V oder USB
	2,5 A peak mit LTE
Externe Antenne	Aktiv L1/L2
Spezifikation	RoHS, CE. Made in Germany

Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Florian Krepela

Bonländer Weg 10

D-72631 Aichtal

Aichtal, den 22.08.2019

Im Original gezeichnet