

Diplomarbeit

Vorgelegt an der **Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt**
an der **Fakultät Kunststofftechnik und Vermessung**
zum Abschluss des Studiums im
Studiengang Vermessung und Geoinformatik

Thema:

„Einsatz von Geobasisdaten und GNSS in der Forstverwaltung“

Erstprüfer: Prof. Dr. R. Hollmann

Zweitprüfer: Prof. Dr. K. Egredner

Abgabetermin: 07. März 2009

Eingereicht von:

Elisabeth Riepel

Allerseeweg 73

97204 Höchberg

Christoph Jobst

Oberkätzer Str. 24

98634 Aschenhausen

Würzburg, den 05. März 2009

Erklärung zur Diplomarbeit

Hiermit versichern wir, dass die vorgelegte Diplomarbeit selbständig verfasst und noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt wurde. Alle benutzten Quellen und Hilfsmittel sind angegeben, wörtliche und sinngemäße Zitate wurden als solche gekennzeichnet.

Würzburg, den 05. 03. 2009

Elisabeth Riepel

Würzburg, den 05. 03. 2009

Christoph Jobst

Vorwort

Da die Forst- und Vermessungsverwaltung einen aktuellen Informationsbedarf über die Qualität digitalisierter Flurkarten sowie GNSS-Messungen in Waldgebieten haben, wurde durch die beiden Verwaltungen angeregt, im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Würzburg-Schweinfurt zu untersuchen, welche Genauigkeiten die DFK und unterschiedliche GNSS-Anwendungen liefern.

Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit gliedert sich in zwei Aufgabenteile. Nachdem sich der Teil A mit verschiedenen GNSS-Korrekturdatendiensten sowie deren Zuverlässigkeit und Genauigkeit auseinandersetzt, beschreibt der Teil B den praktischen Einsatz von GNSS und Geobasisdaten am Amt für Landwirtschaft und Forsten. Im Vordergrund stand dabei besonders die im Forst übliche Methode der Förderflächenermittlung. Weiterhin wurde in den beiden betreffenden Gebieten (Großraum Würzburg) eine kleinräumige Genauigkeitsanalyse der DFK („graphische“ Flurkarte) durchgeführt.

Zusammenfassend für Teil A kann gesagt werden, dass sich die Korrekturdatendienste hinsichtlich ihrer Qualitäten beachtlich unterscheiden. Dies trifft vor allem beim Einsatz unter erschwerten Bedingungen (Abschattungen) zu, und somit generell auch am Amt für Landwirtschaft und Forsten. Es hat sich herauskristallisiert, dass sich der Korrekturdatendienst EGNOS nicht für eine Positionsbestimmung unter den genannten Voraussetzungen eignet. Das überzeugendste Ergebnis liefert der Dienst Trimble VRSnow sowie SAPOS EPS bei denen circa 70 % der aufgezeichneten Positionen weniger als $\pm 1,5$ m Abweichung zum „wahren“ Wert aufweisen. Eine tiefgründigere Ergebnisinterpretation an dieser Stelle würde zu weit führen. Aus diesem Grund sei auf Seite 57 und 98 verwiesen, auf denen sich eine ausführliche Ergebniszusammenstellung befindet.

Die Untersuchungen in Teil B zeigen, dass die „graphische“ Flurkarte (DFK) maximale Abweichungen von $\pm 1,58$ m aufweist. Der mittlere Punktfehler ergab sich jeweils (Erlach, Güntersleben) zu circa $\pm 0,8$ m.

Desweiteren belief sich die Standardabweichung der, mit Hilfe des Instrumentariums der Forstverwaltung, aufgenommenen GNSS-Handheld-Punkte auf etwa $\pm 3,5$ m und bestätigte die Ergebnisse aus Teil A. Eine Systematische Verschiebung der GNSS-Handheld-Punkte war nicht erkennbar. Der Fehleranteil bei der durchgeführten fiktiven Förderflächenermittlung lag zwischen 2 % und 5 % der Gesamtförderfläche.

Inhalt

<i>Vorwort</i>	I
<i>Zusammenfassung</i>	II
<i>Inhaltsverzeichnis</i>	III
<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	IV
A. Untersuchung verschiedener GNSS – Anwendungen.....	11
1. Einleitung.....	11
2. Grundlagen Teil A	12
2.1. GNSS	12
2.1.1. Codemessung	12
2.1.2. Phasenmessung	13
2.1.3. „Absolut“ GNSS	14
2.1.4. Differenzielles GNSS.....	15
2.1.4.1. DGNSS.....	15
2.1.4.1.1. Phasenglättung.....	16
2.1.4.2. PDGNSS.....	17
2.2. Datenformate	17
2.2.1. RTCM SC-104	17
2.2.2. RTCA DO-229C	21
2.3. Korrekturdatendienste	24
2.3.1. EGNOS (SBAS).....	24
2.3.2. BEACON (DGNSS).....	26
2.3.3. SAPOS (DGNSS/PDGNSS)	28
2.3.4. Trimble VRSnow (DGNSS/PDGNSS)	31
2.3.5. Vergleich der Korrekturdatendienste (Anbieterangaben).....	32
2.4. GNSS Geräte.....	34
2.4.1. Trimble.....	35
2.4.2. Leica.....	36
2.4.3. Topcon	36
2.4.4. Magellan.....	37
2.4.5. Vergleich ausgewählter Empfänger (Herstellerangaben).....	38

3. GNSS in Verbindung mit ausgewählten Korrekturdiensten	39
3.1. Grundsätzliches.....	39
3.1.1. Messgebietsbeschreibung.....	39
3.1.2. Auswahl, Anlage und Dokumentation der Messpunkte	41
3.1.3. Verwendete Komponenten.....	44
3.1.3.1. Hardware	44
3.1.3.2. Software	44
3.1.4. Aufnahme.....	45
3.1.4.1. „freie Lage“	45
3.1.4.2. „unter wechselnden Horizontabschattungen“	45
3.1.5. Auswertung	46
3.2. Bewertung der Messungsergebnisse unter optimalen Bedingungen („freie Lage“).....	48
3.2.1. Unkorrigiert.....	48
3.2.1.1. Trimble GeoXT	49
3.2.1.2. Topcon GMS 2	50
3.2.2. EGNOS	51
3.2.3. SAPOS EPS	51
3.2.3.1. Trimble GeoXT	51
3.2.3.2. Trimble 5800	52
3.2.4. BEACON	53
3.2.4.1. Trimble GeoXT	53
3.2.4.2. Topcon GMS 2	54
3.2.5. Trimble VRSnow	54
3.2.6. SAPOS HEPS.....	55
3.2.7. Ergebnisvergleich.....	56
3.3. Bewertung der Messungsergebnisse unter wechselnden Horizontabschattungen („Wald“, „Waldrand“)	59
3.3.1. Abschattung im Osten	61
3.3.2. Abschattung im Südosten.....	67
3.3.3. Abschattung im Süden	72
3.3.4. Abschattung im Südwesten	77
3.3.5. Abschattung im Westen	82
3.3.6. Mäßige Abschattung des gesamten Horizontes (Wald-mittel).....	87
3.3.7. Starke Abschattung des gesamten Horizontes (Wald-viel)	93
3.3.8. Ergebnisanalyse der beiden Messepochen	99
4.Fazit.....	103

B. GNSS und Geobasisdaten am Amt für Landwirtschaft und Forsten	104
1. Einleitung.....	104
2. Grundlagen Teil B	105
2.1. Entstehungsgeschichte der Flurkarte in Bayern (DFK)	105
2.1.1. Von der Örtlichkeit zur analogen Karte	105
2.1.2. Die analoge Karte wird digital	106
2.2. Transformationen	108
2.2.1. Helmertransformations	109
2.2.2. Affintransformation.....	110
2.3. Amt für Landwirtschaft und Forsten.....	111
2.3.1. Aufbau der Forstverwaltung.....	111
2.3.2. Nutzung von Geobasisdaten in der Forstverwaltung / Landwirtschaftsverwaltung	111
2.3.3. Festlegen von Förderflächen bei der Forstverwaltung	112
2.3.3.1. Allgemeines.....	113
2.3.3.2. Verwendetes Instrumentarium.....	114
2.3.3.3. Messungsvorbereitung und Übernahme der Geobasisdaten auf den Handheldempfänger	114
2.3.3.4. Datenzugriff im Feld	115
2.3.3.4.1. Differenzierung der Grenzen und Grenzpunkte.....	115
2.3.3.5. Aufnahme der Förderflächen.....	116
2.3.3.6. Auswertung der Aufnahme.....	117
3. Anforderungen an die Aufmessung der Förderflächen (Bedarfsanalyse).....	118
3.1. Genauigkeit/ Zuverlässigkeit	118
3.2. Anforderungen an die Geobasisdaten	118
3.2.1. Probleme, die sich aus fehlerhafter DFK ergeben.....	119
4. Untersuchung zur Einhaltung der beschriebenen Anforderungen.....	120
4.1. Gebietsauswahl	120
4.1.1. Anforderungen an die Untersuchungsgebiete	120
4.1.2. Beschreibung der Untersuchungsgebiete	121
4.2. Vorbereitung	123
4.2.1. Lösungsansatz	123
4.2.2. Zusammenstellung der benötigten Unterlagen.....	123
4.2.3. Erkundung der Untersuchungsgebiete.....	124
4.3. Messungsdurchführung.....	125
4.3.1. Verwendetes Instrumentarium	125
4.3.2. Netzverdichtung mittels GNSS	126
4.3.3. Tachymetrische Punktbestimmung	126
4.3.3.1. Aufnahme der kartenidentischen Punkte	127
4.3.3.2. Aufmessung der fiktiven Förderfläche mittels Tachymeter	128

4.3.4. Aufnahme der fiktiven Förderfläche mittels Instrumentarium der Forstverwaltung.....	128
4.4. Auswertung.....	129
4.4.1. GNSS	129
4.4.2. Tachymeter.....	130
4.4.3. Topcon GMS-2.....	131
4.4.4. Durchführung der zur Genauigkeitsuntersuchung benötigten Transformationen	131
5. Beurteilung der erreichten Genauigkeit	132
5.1. Vorbetrachtung	132
5.2. Gegenüberstellung der örtlich aufgenommenen Punkte mit den graphischen Koordinaten dieser Punkte.....	137
5.2.1. Ergebnis Helmerttransformation	138
5.2.2. Ergebnis Affintransformation.....	139
5.2.3. Vergleich der Transformationen	140
5.3. Gegenüberstellung der örtlich aufgenommenen Punkte mit der GNSS Handheldmessung.....	142
5.3.1. Ergebnis ohne Transformation	142
5.3.2. Ergebnis der Helmerttransformation.....	144
5.3.3. Ergebnis der Affintransformation	145
5.3.4. Vergleich der Transformationen	146
6. Auswirkungen der Geobasisdaten und der GNSS-Handheldmessung auf die Größe der Förderflächen.....	148
6.1. Welchen Einfluss hat die Flurkarte?	152
6.2. Wie groß ist der Einfluss der GNSS-Messung?	154
6.3. Was bewirkt das Zusammenspiel beider Einflüsse?	156
7. Kommentar.....	158
a. Glossar	
b. Abbildungsverzeichnis	
c. Tabellenverzeichnis	
d. Bibliografie	
e. Anhang	

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zwei Dimensional
ALF	Amt für Landwirtschaft und Forsten
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ASCII-Datei	American Standard Code for Information Interchange
cm	Zentimeter
CSV-Datei	Comma-Separated Variables-File / Komma-separierte Variablendatei
DA	Diplomarbeit
DC-File	Trimblespezifisches Dateiformat (Instrumentenformat)
DFK	Digitale Flurkarte
DGNSS	Differentielles GNSS
DGPS	Differentielles GPS
DWG-Datei	Drawing / Zeichnung
DXF-Datei	Drawing Interchange Format / Zeichnungsaustauschformat
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EU	Europäische Union
GIS	Geografisches Informationssystem
GK	Gauß-Krüger-Koordinaten
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPRS	General Packet Radio Service / Allgemeiner Paketübertragungsdienst
GPS	Global Positioning System
GSM	Global Standard for Mobile Communications

LaFIS	Landwirtschaftliches Flächeninformationssystem
LGO	Leica Geomatics Office
m	Meter
MW	Mittelwelle
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
PDGNSS	Präzises Differentielles GNSS
Pdop	Positional Dilution Of Precision
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst
SBAS	Satellite Based Argumentation System
SNR	Signal-to-noise-ratio / Signal-Rausch-Verhältnis
UDRE	User Differential Range Error
UDREI	User Differential Rang Error Index
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Standard
VOK	Vor Ort Kontrolle
VRS	Virtuelle Referenz Station
WADGPS	Wide Area GPS
WGS 84	World Geodatic System 1984
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

A. Untersuchung verschiedener GNSS – Anwendungen

1. Einleitung

Mit der Entwicklung des NAVSTAR - GPS (Navigation System with Timing and Ranging Global Positioning System) Mitte der siebziger Jahre und der vollen Funktionsbereitschaft im Jahre 1995, erfolgte die Etablierung der Nutzung der Satellitennavigation für zivile Anwendungen. Mit dem russischen Satellitennavigationssystem GLONASS und den, im Aufbau befindlichen, Systemen GALILEO (Europa) und COMPASS (China) erfolgte beziehungsweise erfolgt der Ausbau der Satellitennavigationssysteme.

Diese ursprünglich für das Militär gedachten Systeme sind mittlerweile nicht mehr aus der zivilen Navigation wegzudenken und finden nicht nur in der Vermessung, sondern auch in vielen anderen Bereichen, wie in der Fahrzeugnavigation, Landwirtschaft, Baubranche, Freizeitbereichen und bei Such- und Rettungsdiensten, Anwendung.

Auch in der Forstverwaltung findet für die Ermittlung von Förderflächen die Positionsbestimmung mit Hilfe einfacher GNSS-Handheldgeräte statt. Gerade in diesem Fall ist die Positionsbestimmung extremen Bedingungen, durch die Bewaldung und der damit verbundenen Abschattung, ausgesetzt. Aus diesem Grund wurde untersucht, welchen Einfluss diverse Abschattungen (Bewaldung), sowohl mit als auch ohne Laub, auf die Positionierung haben. Außerdem wurde getestet, inwieweit eine Verbesserung der Positionierungsgenauigkeit durch die Anwendung von Korrekturdatendiensten möglich ist. Zuvor werden die Grundlagen der Positionsbestimmung durch Satellitennavigation erläutert. Ferner erfolgt eine Vorstellung der verwendeten Korrekturdatendienste und der momentan auf dem Markt erhältlichen GNSS-Handheldgeräte.

2. Grundlagen Teil A

2.1. GNSS

Das „Global Navigation Satellite System“ bildet den Überbegriff für all jene Systeme, die eine weltumfassende Bestimmung der Position zulassen. Darunter zählen GPS, GLONASS, GALILEO sowie COMPASS. Die prinzipielle Funktionsweise ist bei allen vier Systemen nahezu identisch. Im Folgenden werden die Verfahren erläutert, mit denen eine mehr oder weniger genaue Positionsbestimmung möglich ist.

2.1.1. Codemessung

Das Verfahren der Codemessung beruht auf reiner Laufzeitmessung des Satellitensignals. Laufzeitmessung bedeutet, dass die Zeit vom Ausgang des Signals am Satelliten, bis zum Eingang des Signals am Empfänger erfasst wird (vgl. hierzu Abb. 1).

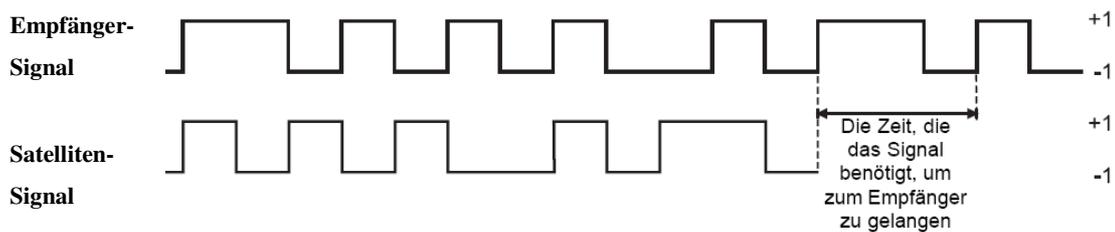


Abb. 1: Prinzip der Laufzeitmessung

Vor allem Einfrequenzempfänger nutzen das Verfahren der Codemessung um ein Positionsergebnis zu liefern. Ein Großteil der Einfrequenzempfänger nutzt hierfür die L1 Frequenz (1575,42 MHz), auf der der sogenannte C/A Code aufmoduliert ist. Codebeobachtungen sind aber auch problemlos mit Zweifrequenzempfängern möglich. Bei diesen besteht darüber hinaus die Möglichkeit systematische Fehler zu eliminieren, da die L2 Frequenz (1227,60 MHz) seit 2005 ebenfalls den C/A Code enthält [vgl. hierzu Hollmann, 2008]. Auch kann mit den genannten Zweifrequenzempfängern das Prinzip der Phasenglättung angewendet werden (vgl. hierzu Abschnitt 2.1.4.1.1.)

Die Auswertung mittels P-Code ist ebenfalls möglich. Dieser unterscheidet sich vom C/A Code durch seine 10-fach höhere Auflösung und wird als Y-Code übertragen. Jedoch ist dieser Code verschlüsselt und somit für den „normalen“ Nutzer nicht zugänglich.

Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass dieses Verfahren im Gegensatz zur Phasenmessung auch unter erschwerten Bedingungen, wie sie zum Beispiel eine Abschattung darstellt, eine Bestimmung der Position zulässt. Ein Nachteil ist die schlechtere Genauigkeit gegenüber der Phasenmessung.

2.1.2. Phasenmessung

Die Phasenmessung stützt sich, anders als die Codemessung, nicht auf die Bestimmung der Laufzeit. Vielmehr wird die „Länge“ der Trägerphase von Satellit bis Empfänger bestimmt (vgl. hierzu Abb.2).

Die Trägerphase beschreibt eine Sinuswelle des L1, beziehungsweise L2 Signals, das vom Satelliten ausgesandt wird. Eine Wellenlänge λ der Trägerphase entspricht etwa 19,4 cm.

Da im Empfänger sowohl das Satellitensignal als auch das Referenzsignal zur Verfügung steht, kann durch Differenzbildung ein neues Signal gewonnen werden, die „Carrier Beat Phase“. Erfolgt die Bestimmung der Position mittels dieser „Carrier Beat Phase“, so spricht man von Phasenmessung.

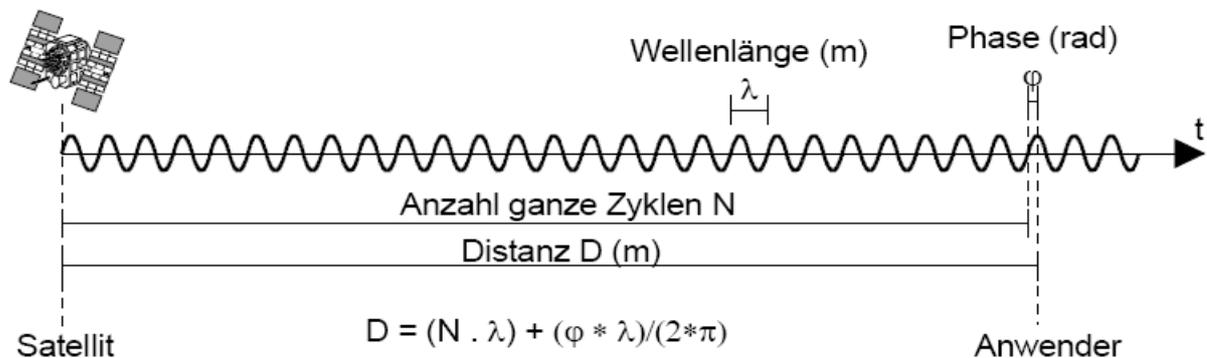


Abb. 2: Prinzip der Phasenmessung

Wie aus Abb. 2 ersichtlich, ist die Phasenmessung mehrdeutig, da im Empfänger nur das Phasenreststück ϕ bestimmt werden kann. Diese Mehrdeutigkeit lässt sich nur lösen, indem mehrere Satelliten in einem bestimmten Zeitraum gleichzeitig verfolgt werden. Das Auftreten von Phasensprüngen, den sogenannten „Cycle Slips“ erschwert die Lösung. Phasensprünge entstehen durch Störung des Satellitensignals auf dem Weg zum Empfänger.

Das Verfahren der Phasenmessung wird ausschließlich beim präzisen differentiellen GNSS (PDGNSS) verwendet (vgl. hierzu Kapitel 2.1.4.2.).

Es kann eine Genauigkeit von bis zu 1 mm erreicht werden.

2.1.3. „Absolut“ GNSS

Zunächst kommt aus rein vermessungstechnischer Sicht eine Absolutbestimmung mit GNSS, auch „Navigationslösung“ bezeichnet, nicht in Frage, da die erforderlichen Genauigkeiten von wenigen Zentimetern hiermit nicht erfüllt werden können. Das Verfahren des präzisen differenziellen GNSS (PDGNSS) steht somit im Vordergrund des Vermessers.

Jedoch gibt es eine Vielzahl von Anwendungsfeldern in der eine Positionsbestimmung im Bereich von mehreren Metern genügt.

Die Grundlage zur Positionsbestimmung bilden mindestens vier Satelliten deren Koordinaten durch die Bahngleichungen bekannt sind, um folgende Unbekannte zu ermitteln;

- Ellipsoidische Länge (X)
- Ellipsoidische Breite (Y)
- Ellipsoidische Höhe (Z)
- Zeitfehler (Δt)

Um diese vier unbekannt Parameter zu bestimmen, bedarf es vier voneinander unabhängiger Laufzeitmessungen (vgl. hierzu Abschnitt 2.1.1.) im selben Zeitraum. Die Laufzeiten werden infolge dessen von mindestens vier verschiedenen Satelliten bezogen (vgl. hierzu Abb. 3). Multipliziert man jetzt die erfasste Laufzeit mit der Lichtgeschwindigkeit, so ergibt sich die Distanz zwischen Satellit und Empfänger. Da aber die Signallaufzeit aufgrund der Zeitdifferenz zwischen Satellitenuhr und Empfängeruhr nicht exakt bestimmt werden kann, spricht man auch von „Pseudoentfernungen“, d. h. man erhält die Distanz die mit dem Uhrenfehler behaftet ist.

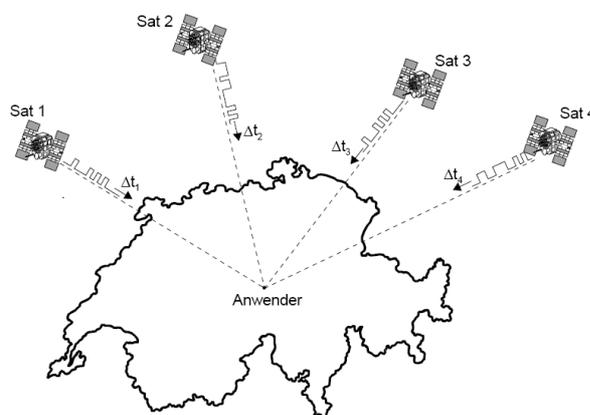


Abb. 3: Prinzip des „Absolut“ GNSS

Lässt man nunmehr diese „Pseudoentfernungen“, in ein Gleichungssystem eingehen, das aus mindestens vier Gleichungen besteht, so erhält man eine eindeutige Lösung oben gesuchter Parameter.

Die heute typisch erreichbare Genauigkeit, bei Anwendung dieses Verfahrens, liegt zwischen 3 und 15 m.

2.1.4. Differenzielles GNSS

2.1.4.1. DGNSS

Um einen Großteil der systematischen Fehler (ionosphärische und troposphärische Einflüsse, ungenaue Bahndaten, restliche Uhrenfehler) zu korrigieren, wird zusätzlich zu dem mobilen Empfänger ein zweiter Referenzempfänger, dessen Koordinaten exakt bekannt sind, verwendet. Da der Empfänger und die Referenzstation im Vergleich zur Entfernung zum Satelliten nah beieinander liegen, geht man davon aus, dass sie den gleichen atmosphärischen Einflüssen unterliegen.

Das zugrunde liegende Messprinzip der Codemessung erfolgt simultan zu mindestens vier Satelliten (vgl. hierzu Kapitel 2.1.1.). Da die Koordinaten der Referenzstation fix sind, können Differenzen zwischen der gemessenen Entfernung (Pseudorange) und der berechneten Entfernung zu jedem Satelliten ermittelt werden. Auch der Empfänger berechnet die Strecke zu den Satelliten und wendet die übermittelten Entfernungskorrekturen an. Diese Entfernungskorrekturen werden mit Hilfe des RTCM-Formats an den Empfänger über Funk, Telefon oder Internet übertragen, oder im Nachgang der Messung zur Korrektur verwendet (Postprocessing).

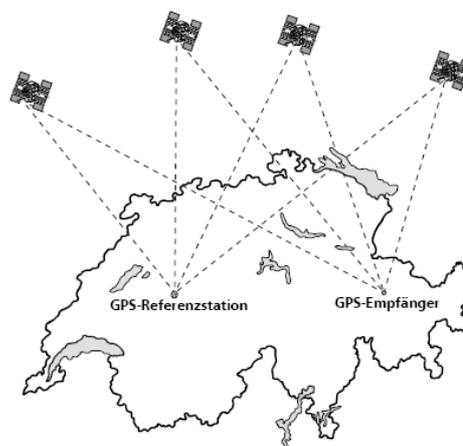


Abb. 4: Prinzip des DGNSS

Durch die exzentrische Lage des Standortes (Nutzer-GNSS-Position) auf der Erdoberfläche, ist im Vergleich zu der auf das Massezentrum der Erde bezogenen Satellitenbahn, eine ständige Änderung des Abstands zwischen Satellit und Rover gegenwärtig (vgl. hierzu Abb. 5). Diese Änderung des Abstandes kann durch das „Zählen“ von Wellenlängen der Trägerphasenfrequenz erfasst und in die Berechnung einer gemittelten (exakteren) Entfernung zum Satelliten einbezogen werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn das Satellitensignal ungestört empfangen wird.

2.1.4.2. PDGNSS

Bei dem präzisen differenziellen GNSS wird nicht das Prinzip der Codemessung, sondern das der Phasenmessung angewendet.

Um Phasenmehrdeutigkeiten wie in Kapitel 2.1.2. beschrieben, lösen zu können, müssen alle Fehlereinflüsse (ionosphärische und troposphärische Einflüsse, ungenaue Bahndaten, restliche Uhrenfehler) minimiert werden.

Der Ablauf des präzisen differenziellen GNSS ist bis auf die hier angewendete Phasenmessung identisch.

2.2. Datenformate

2.2.1. RTCM SC-104

Durch das Aufkommen von DGNSS-Anwendungen wurde es notwendig, die zur DGNSS-Berechnung benötigten Informationen von der Referenzstation zum Nutzer zu übertragen.

Das amerikanische Institut der Radio Transmission Committee for Marine Applications (RTCM) bildete mit der Special Commission 104 (SC-104) eine Arbeitsgruppe, welche aus Vertretern der US-Bundesbehörden, GPS-Geräteherstellern und Anwendern bestand. Sie führte bereits zu Beginn der 90er Jahre den ersten Standard für die Inhalte und das Übertragungsformat für DGPS-Anwendungen ein. Dieser wurde in den folgenden Jahren immer wieder an die aktuellen Entwicklungen angepasst. Daraus leiten sich unterschiedliche RTCM Versionen ab, beispielsweise RTCM 2.1.

Durch die Unterstützung der RTCM-Standards von allen Herstellern und Anwendern, verbreiteten sich diese, auch außerhalb der USA, und sind zu international anerkannten Standards geworden.

Zur Übertragung der Korrekturdaten berechnet die Referenzstation, vereinfacht gesagt, die Differenz zwischen der tatsächlich gemessenen und der „Sollstrecke“ zu den Satelliten. Diese Korrekturwerte werden dann zu einer Mobilstation übertragen.

„RTCM-Daten werden als kontinuierlicher binärer Datenstrom versendet. Ein RTCM-Datensatz wird typischerweise komplett innerhalb einer Sekunde übertragen. RTCM verpackt die unterschiedlichen Inhalte eines Datensatzes in unterschiedlichen Nachrichtentypen (Message-Typen)“ [vgl. hierzu Bagge, 2001].

Jede Nachricht eines Datensatzes beinhaltet einen Nachrichten-Kopf (Header) und einen Nachrichten-Rumpf (Body). Der Typ der Nachricht, die Zeitangabe, die Stations-ID der Referenzstation und die Länge der Nachricht werden im Header gesendet. Im Body sind die zum jeweiligen Datentyp gehörigen Nutzdaten enthalten. Einige Typen müssen jede Sekunde, andere wiederum zu bestimmten Zeitpunkten oder in beliebigen Zeitintervallen gesendet werden. Generell führt eine geringe Update-Rate zu einer geringeren Genauigkeit.

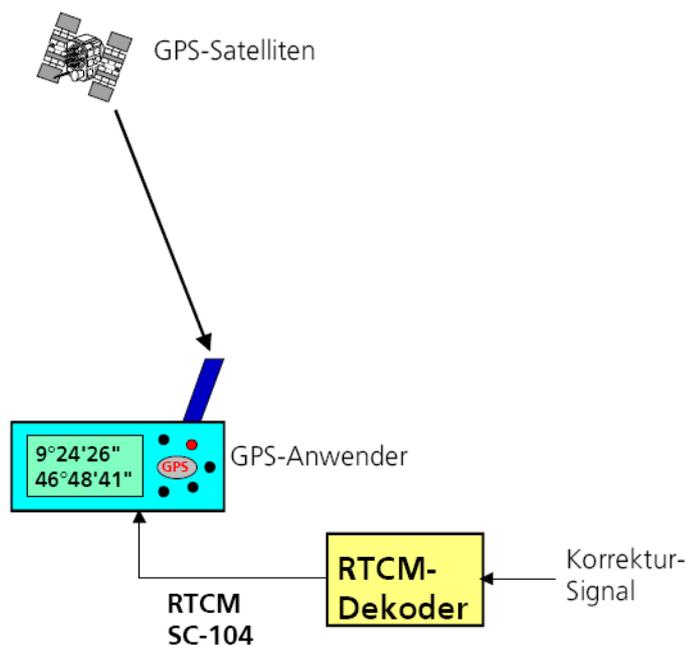


Abb. 6: Prinzip der RTCM SC-104 -Korrekturdaten Anwendung

In unserem Fall wird das RTCM-Datenformat von den Korrekturdatendiensten SAPOS EPS/HEPS, Trimble VRSnow und BEACON verwendet. BEACON nutzt die Version RTCM 2.1. Bei SAPOS und Trimble VRSnow werden bei den DGNSS-Dienst jeweils die Versionen 2.1 und bei den präzisen DGNSS die Versionen 2.3; 3.0 (nur Trimble) oder 3.1 (nur SAPOS) gebraucht. Auf die Formatversionen 3.0 und 3.1 wird im Folgenden nicht weiter eingegangen, da diese nicht verwendet wurden.

Es folgen zwei Tabellen mit der Auflistung der jeweiligen RTCM Version und deren Messagetypen sowie deren Inhalt.

Version: RTCM 2.1

Dienste die dieses Format nutzen: SAPOS Bayern EPS, Trimble VRSnow DGPS-Service-Option, Beacon

Typ	Inhalt
1/31	Differenzielle Code Korrekturen für GPS (1) und GLONASS (31) (Pseudorange und Geschwindigkeit, max. 12 Satelliten)
2	Pseudorangekorrekturen, bezogen auf alten Bahndatensatz (max. 12 Satelliten)
3	ETRS89-Referenzstationskoordinaten
6	Null-Message, als Füll-Record bei Timeouts verwendet
16	Special Message (maximal 90 Zeichen langer ASCII-Text)
59	Proprietäre Messages
9	GPS partielle Korrekturen (max. 3 Satelliten pro Message)
17	GPS Ephemeriden (1 Satellit Pro Message)
18	RTK Trägerphasen, unkorrigiert
19	RTK Pseudorange, unkorrigiert
20	RTK Trägerphasen-Korrekturen
21	RTK Pseudorange-Korrekturen

Tabelle 1: Messagetypen des RTCM 2.1

Version: RTCM 2.3

Dienste die dieses Format nutzen: VRS-SAPOS(HEPS), Trimble VRSnow RTK-Service-Option

wie RTCM Version 2.1, zusätzlich:

Typ	Inhalt
14	GPS-Zeit (GPS-Woche und volle Stunden innerhalb der Woche, Schaltsekunden zwischen UTC und GPS-Zeit)
22	Erweiterte Referenzstationsparameter (verbesserte Typ 3 Koordinaten (dX,dY,dZ), optional Antennenhöhe, optional dX,dY,dZ für L2)
31	Differentielle GLONASS Korrekturen (sonst wie Typ 1)
37	GNSS System Time Offset (Schaltsekunden)
23	Antennenbezeichnung (Name), Setup-ID, optional Antennenseriennummer
24	Koordinaten des Antennen-Referenzpunktes (ARP) der Referenzstation (ETRS89), optional Antennenhöhe

Tabelle 2: zusätzliche Messagetypen RTCM 2.3

Dabei muss nicht jeder Nachrichtentyp in einem RTCM-Datensatz vorhanden sein. Die Messtypen 17 bis 21 werden zum Beispiel für die Anwendung der reinen Code-Korrekturen nicht gebraucht.

Ingesamt weist das RTCM-Format 63 verschiedene Nachrichtentypen aus. Beim Nachrichtentyp 1 (Pseudorangekorrekturen) besteht zusätzlich die Möglichkeit Qualitätsinformationen, UDRE (User differential range error), für die Pseudostreckenkorrekturen zu übertragen. *„Dieser gibt die geschätzte Standardabweichung der Pseudorangekorrektur an, welche von der Referenzstation berechnet wird. Im RTCM-Format sind dafür nur 2Bit vorgesehen, sodass nur vier Genauigkeitsbereiche angegeben werden können,...“* [vgl. hierzu Zimmermann, 2006]. In der nachfolgenden Tabelle sind diese vier Bereiche angegeben.

Code	Bereich der ermittelten Standardabweichung
11	$8 \text{ m} < \sigma$
10	$4 \text{ m} < \sigma \leq 8 \text{ m}$
01	$1 \text{ m} < \sigma \leq 4 \text{ m}$
00	$\sigma \leq 1 \text{ m}$

Tabelle 3: Intervalle der geschätzten Standardabweichung der UDRE
(geschätzte Fehler der differenziellen Korrektur)

Das RTCM Format kann auf verschiedene Weise dem Nutzer übermittelt werden. In unserem Fall bezogen wir die Daten über NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) und Mittelwelle.

Jeweils eine Beispieldatei (decodierte RTCM Daten/ASCII) für beide oben beschriebenen Formate (SAPOS EPS/HEPS) befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

2.2.2. RTCA DO-229C

Das RTCA DO-229C Format wird von den satellitengestützten Erweiterungssystemen (SBAS, Satellite Based Augmentation System) wie EGNOS verwendet.

Die Abkürzung RTCA steht für Radio Technical Commission for Aeronautics. Die RTCA ist eine private gemeinnützige Vereinigung, die einheitliche Empfehlungen bezüglich Kommunikation, Navigation, Kontrolle und Luftverkehr-Managements entwickelt. Hauptzweck des Zusammenschlusses war die Förderung der Forschung und Entwicklung des Flugwesens und elektronischer Flugsysteme.

Das Kürzel DO-229C bedeutet Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne. Mit der Erarbeitung dieses Dokuments (DO-229C) wurde das Format für die WADGPS-Nachricht (Wide Area DGPS-Nachricht) festgelegt, das minimale Leistungsstandards bezüglich der GNSS-Geräte voraussetzt.

Da beim RTCA-Format die Frequenzen (1,2 - 1,5 GHz) und Datenformate kompatibel mit denjenigen von GPS/GNSS sind, können moderne GNSS-Empfänger die RTCA-Daten, im Gegensatz zu der Verwendung von RTCM, ohne zusätzlichen Hardwareaufwand auswerten (vgl. hierzu Abb. 7).

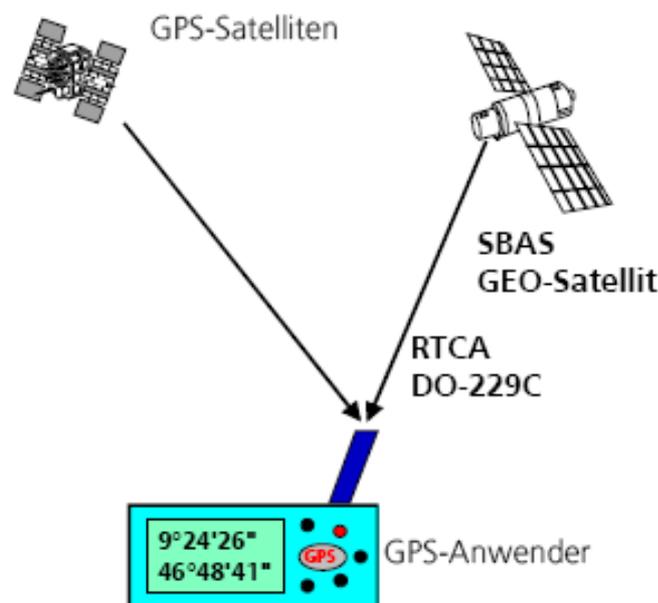


Abb. 7: Prinzip der Anwendung des RTCA DO-229C Formats

Wie auch bei dem RTCM SC 104 Format, besteht die Möglichkeit, Integritätsinformationen und Korrekturen der ionosphärischen Signalverzögerung, zu übertragen. Weiterhin werden für jeden Satelliten separate Korrekturen übertragen. „Dazu muss der Datenstrom die Korrekturen aller GPS-Satelliten und anderer GNSS-Satelliten, die sich im Orbit befinden, transportieren. Deshalb hat das RTCA-Format im Gegensatz zum RTCM und GPS eine mit 250 bps sehr hohe Datenübertragungsrate. Die Grundstruktur der Nachrichtentypen ist jedoch ähnlich. Jede Nachricht beginnt mit einer Präamble, die 8 Bit umfasst, gefolgt von 6 Bit, welche die Nummer des Nachrichtentyps enthalten. Es ist somit bei diesem Format eine Unterscheidung in 64 Nachrichtentypen möglich.“ [vgl. hierzu Zimmermann, 2006]

Die wichtigsten Nachrichtentypen sind:

- Nachrichtentyp 1 – PRN Maske

Hier wird dem Nutzer mitgeteilt, zu welchen Satelliten die empfangenden Korrekturen gehören. Insgesamt umfasst die PRN-Maske 210 Spalten mit jeweils 1 Bit Größe. Die Zuordnung der Spalten zu den Satellitensystemen (PRN Nummern) ist in Tabelle 4 aufgezeigt.

Spalte	Zuordnung
1 – 37	GPS-PRN/reserviert für GPS-PRN
38 – 61	GLONASS; Spaltennummer plus 37
62 – 119	zukünftige GNSS
120 – 138	GEO(geostationäre Satelliten) des WAAS
139 – 210	zukünftige GNSS/GEO/WAAS/Pseudolites

Tabelle 4: Zuordnung der PRN-Maske

Maximal werden Korrekturen von 51 Satelliten zur Verfügung gestellt, d.h. es können maximal 51 Bit gesetzt sein.

- Nachrichtentyp 2-5 – Schnelle Korrekturen (Fast Corrections)

- Nachrichtentyp 6 – Integritätsinformationen

Im Vergleich zu dem RTCM SC-104 Format, das nur eine Differenzierung nach 4 Genauigkeitsbereichen zulässt, bietet das RTCA DO-229C Format eine Genauigkeitsabstufung in 16 Bereiche (vgl. hierzu Tabelle 5). Ferner hat das RTCA-Format den Vorteil, dass die Genauigkeitsinformationen unabhängig von den Korrekturen übertragen werden. Damit wird erreicht, dass Alarmzustände einzelner oder mehrerer Satelliten (maximal 51) gleichzeitig und damit auch schneller zum Nutzer übertragen werden können.

UDREI	UDRE [m]	σ_{UDRE}^2 [m ²]
0	0,75	0,05
1	1,00	0,09
2	1,25	0,14
3	1,75	0,28
4	2,25	0,47
5	3,00	0,83
6	3,75	1,30
7	4,50	1,87
8	5,25	2,55
9	6,0	3,33
10	7,5	5,20
11	15,00	20,79
12	50,00	230,97
13	150,00	2078,70
14	„Nicht überwacht“	„Nicht überwacht“
15	„Nicht benutzen“	„Nicht benutzen“

Tabelle 5: Zuordnung der Indikatorwerte (UDREI) zu den geschätzten Fehlern der differenziellen Korrekturen (UDRE)

- Nachrichtentyp 25 – Langzeitliche Korrekturen (Slow Corrections)

„Generiert werden die RTCA-Daten im Gegensatz zu RTCM von einer Kontroll- oder Rechenstation auf der Basis der Daten der zum DGPS-Dienst zugehörigen Referenzstationen. Damit ist es auch möglich, Korrekturen fast aller Satelliten bereitzustellen. Dahingehend ist das RTCA-Format sehr effizient gestaltet. Es besteht also im Gegensatz zu RTCM die Möglichkeit, Korrekturen einer großen Anzahl von Satelliten auch mit relativ hohen Wiederholungsraten zu übertragen.“ [vgl. hierzu Zimmermann, 2006]

2.3. Korrekturdatendienste

Korrekturdienste ermöglichen es, die Positionsgenauigkeit von GNSS zu verbessern, d.h. von Fehlern zu befreien und somit die Genauigkeit zu steigern. Ein solcher Fehler ist in erster Linie der Ionosphärenfehler. Seine Entstehung beruht auf Signalverzögerungen in der Ionosphäre. Durch Nutzung eines Korrekturdatendienstes kann nun dieser Fehler, als auch Korrekturen der Satellitenposition sowie der Zeitmessung, im Ergebnis berücksichtigt werden.

Die Korrekturdaten werden mit Hilfe der in Kapitel 2.2. beschriebenen Datenformate übertragen. Im Folgenden werden die wichtigsten Korrekturdienste, dem jeweiligen Anbieter sowie deren technischen Details erläutert.

2.3.1. EGNOS (SBAS)

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) ist ein Gemeinschaftsdienst/-projekt der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), der Europäischen Kommission sowie der Zivilluftfahrtorganisation (EUROCONTROL). EGNOS stellt die Vorstufe von Galileo dar [vgl. hierzu Müller, D., 2004]. Der Korrekturdienst ist im Bereich der europäischen Zivilluftfahrt zu empfangen (vgl. hierzu Abb. 8).

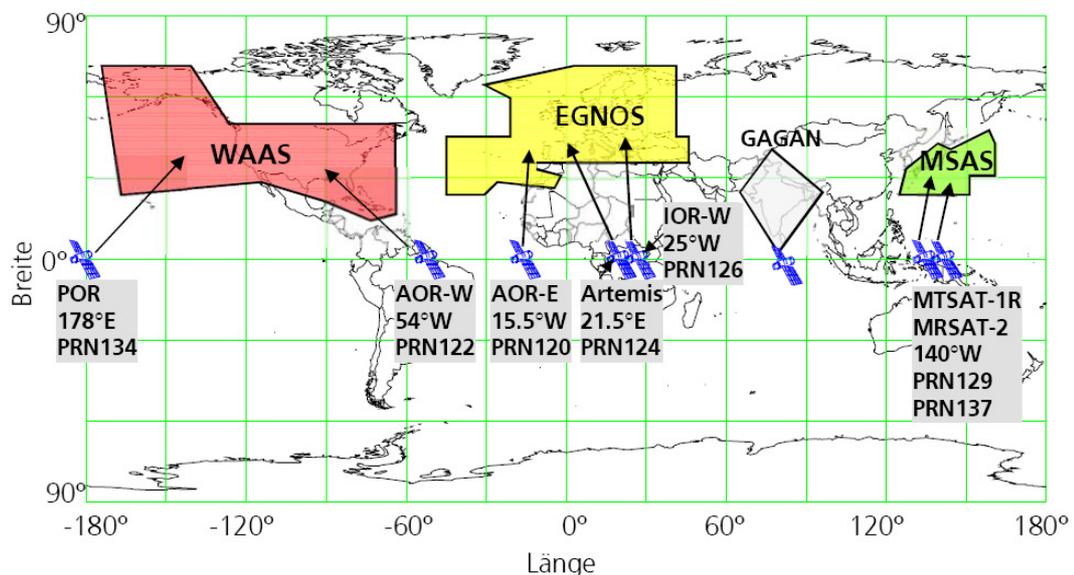


Abb. 8: SBAS Versorgungsgebiete / SBAS Satelliten

Der Oberbegriff für ein System wie EGNOS, wird als SBAS (Satellite Based Augmentation Systems, Satellitengestützte Erweiterungssysteme) bezeichnet. Diese Systeme haben folgende Funktionen:

- Verbesserung der Genauigkeit durch Korrekturdaten
- Verbesserung von Integrität und Sicherheit: Der Nutzer wird bei Satellitenausfall benachrichtigt (Systemzustand).
- Verbesserung der Verfügbarkeit/Zuverlässigkeit: Da SBAS Systeme ähnliche Signale senden wie GPS, kann der GPS-Empfänger dieses zur Ortung auswerten (Pseudoentfernung).

Insgesamt umfasst EGNOS drei Satelliten die in Abb. 8 dargestellt sind. Hierbei handelt es sich um geostationäre Satelliten die sich in etwa 36.000 km Höhe befinden und die gleiche Sendefrequenz wie GPS (L1 Frequenz) besitzen. Auf dieser Frequenz aufmoduliert befindet sich der C/A Code. Dieser enthält zusätzlich auch die Korrekturdaten, was ihm vom GPS-Datencode unterscheidet. Der Datencode unterteilt sich in die schnell veränderlichen Korrekturen (Fast Corrections), die an erster Stelle an den Empfänger übermittelt werden und die langsam veränderlichen Korrekturen (Slow Corrections) (vgl. hierzu Tabelle 6).

Fast Corrections	Slow Corrections
Gesundheitszustand der Satelliten (Integrität)	Bahndatenkorrekturen
Satellitenbahnkorrekturen	Positionskorrekturen
Momentaner „SA“ Zustand	Genauigkeit
	Geschwindigkeit
	Uhren-Korrektion
	UTC-Offset Parameter

Tabelle 6: Art der Korrektur

Im Anschluss daran, werden die ionosphärischen und die troposphärischen Korrekturen sowie Informationen die GPS/GLONASS betreffen, übertragen. Die Korrekturen sind, wie auch bei anderen Korrekturdiensten, einem „Message Typ“ zugeordnet, an diesem sich, durch eine Zahl erkennen lässt, um welche Korrekturinformation es sich handelt. Beim Datenformat, das der Übermittlung dient, handelt es sich um das RTCA DO-229C Format (vgl. hierzu Kapitel 2.2.2.).

Die EGNOS-Satelliten werden vom Kontroll-Segment gesteuert, das dem des GPS ähnelt (vgl. hierzu Abb. 9).

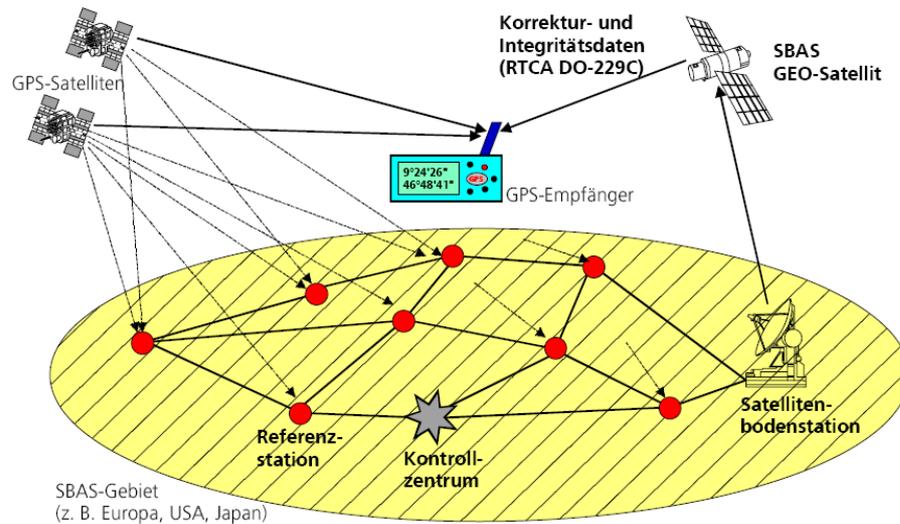


Abb. 9: Prinzip von SBAS

Hauptnutzer von EGNOS ist die Flugsicherung.

In Deutschland stehen die EGNOS-Satelliten am südlichen Horizont mit einer Elevation von etwa 35° . Daraus lässt sich ableiten, dass ein Empfang unter größerer Abschattung im Süden nicht möglich ist. Somit ist dieser Korrekturdienst theoretisch nur für die „freie Feldlage“ von Nutzen.

2.3.2. BEACON (DGNSS)

Neben den Satellitengestützten Erweiterungssystemen wie EGNOS, gibt es auch die differenziellen GNSS Systeme wie BEACON, auch IALA-DGPS genannt, die Korrekturen übermitteln.

Das System sendet Korrekturdaten nach dem internationalen Standard, den die IALA (International Association of maritime aids to Navigation and Lighthouse Authorities) verfasst hat. Ziel dieses Dienstes ist es, die Navigation in den Küstenbereichen sowie den Wasserstraßen zu sichern beziehungsweise zu verbessern (Genauigkeitssteigerung). Ein weiterer Bestandteil ist die Übermittlung von Integritätsinformationen der GNSS an den Nutzer.

Die Korrekturdaten werden im „Funkfeuerverband“ ausgesandt. Diese Aussendung erfolgt nach dem weltweiten Funkübertragungsprotokoll der International Telecommunication Union (ITU).

Die nachfolgende Tabelle 7 enthält die Technischen Daten des Korrekturdienstes [vgl. hierzu Hoppe, 2006].

Frequenz	283,5 - 315 kHz in Europa
Band:	283,5 - 325 kHz in anderen Regionen
Modulation:	Minimum Shift Keying (MSK)
Datenrate:	50, 100 oder 200 Bit/s Seit der S/A Abschaltung verwenden die meisten Länder 100 Bit/s
Datenformat:	RTCM SC104 V 2.1 Message-Typen: 1, 9, 3,6,16 für DGPS
International Standards:	ITU- Recommendation M. 823-2 für das Funkübertragungsprotokoll IEC-61108-4 für die DGPS-Korrekturdatenempfänger (Beacon receiver) IEC-61108-1 für die GPS-Empfänger

Tabelle 7: Technische Details zu BEACON

In Deutschland besteht das BEACON-Netz aus insgesamt sieben DGPS-Referenzstationen (vgl. Abb. 10 / 11), die von der Wasser und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes betrieben werden. Das Korrektursignal wird über Mittelwelle (MW) übertragen.

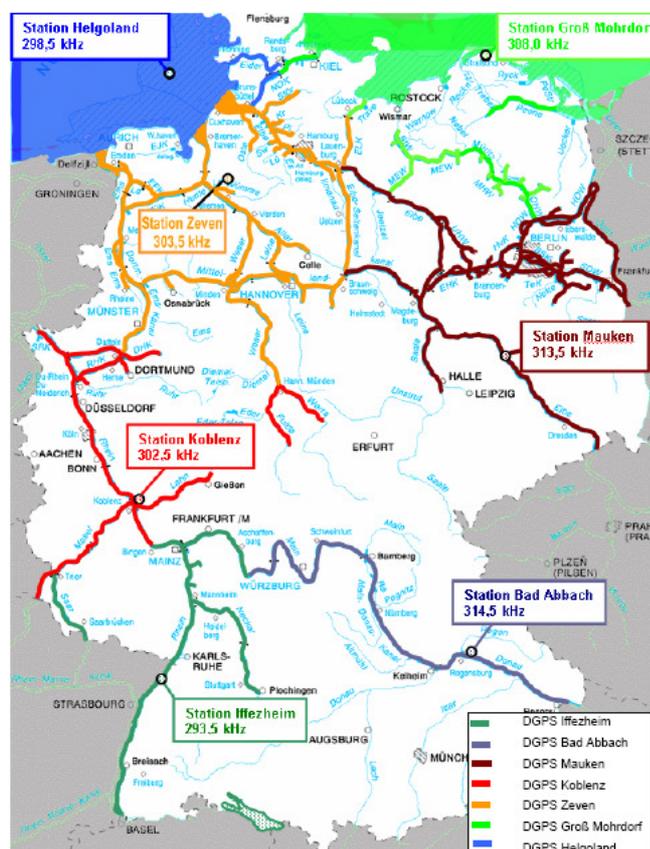


Abb. 10: BEACON Referenzstationen und deren Abdeckung

Neben den Referenzstationen ist auch ein Netz von Monitorstationen vorhanden, die dazu dienen die Systemgenauigkeit unter Verwendung von einfachen DGNSS-Empfängern zu ermitteln sowie die aktuelle Verfügbarkeit und Reichweite des Korrekturdienstes zu erfassen. Für den BEACON-Empfang benötigt der Nutzer zusätzlich zu dem GNSS-Empfänger einen BEACON-Korrekturdatenempfänger, der im GNSS Gerät integriert ist oder separat mitgeführt werden muss.



Abb. 11: Bild eines BEACON Korrektursenders

2.3.3. SAPOS (DGNSS/PDGNSS)

Der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS ist ein Gemeinschaftsprojekt der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Er besteht aus einem bundesweit flächendeckenden Netz von über 250 (37 in Bayern) permanent arbeitenden GNSS-Referenzstationen (vgl. hierzu Abb. 12).

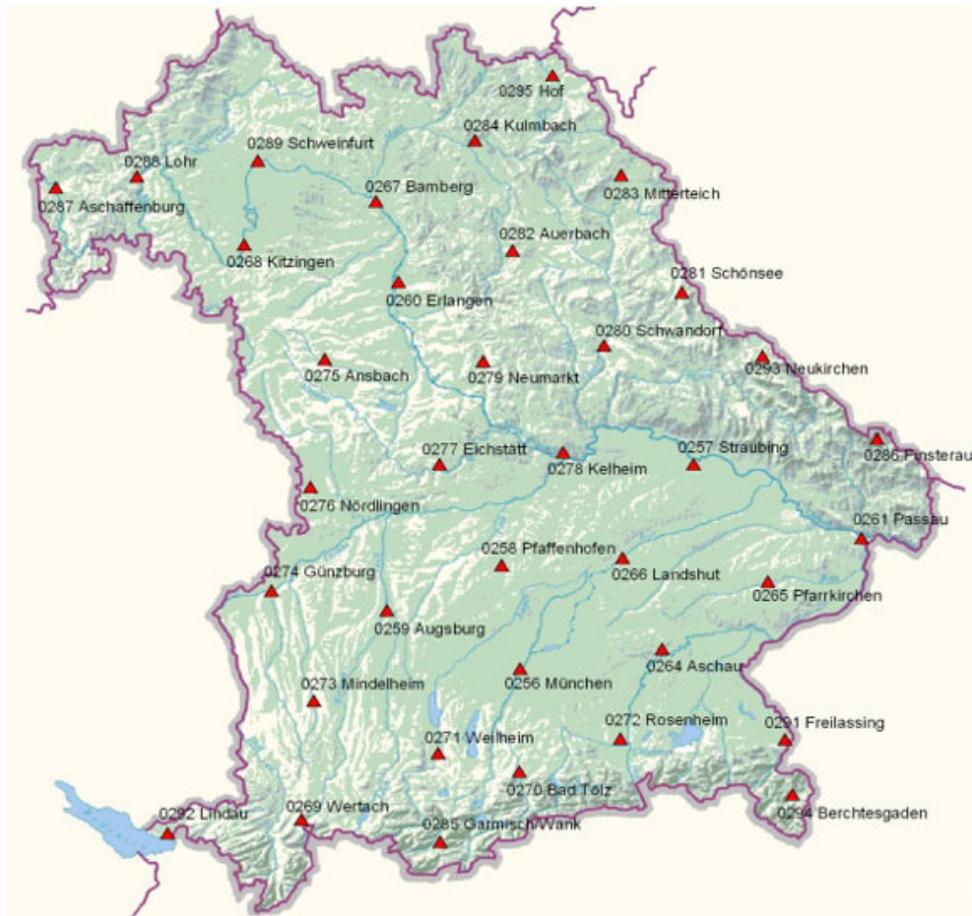


Abb. 12: Übersicht über die Verteilung der SAPOS-Referenzstationen in Bayern

Durch differenzielles GNSS (DGNSS/PDGNSS) werden dem Nutzer, je nach Anforderung verschiedene Genauigkeitsniveaus (-klassen) zur Verbesserung der Positionierungsgenauigkeit zur Verfügung gestellt. Für die Übertragung der Korrekturdaten wird das RTCM-Format verwendet.

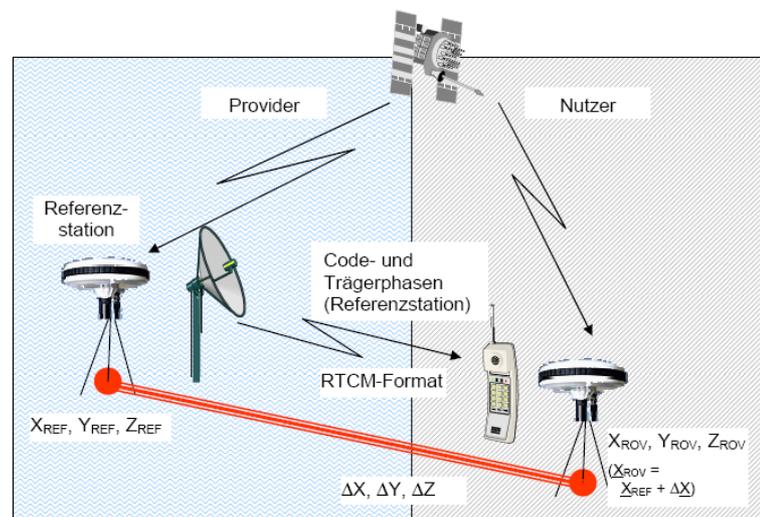


Abb. 13: Prinzip der Positionierung mit Hilfe von SAPOS

Man unterscheidet drei Genauigkeitsklassen:○ *EPS*

Insgesamt gibt es bayernweit zwei Referenzstationen, die für SAPOS EPS herangezogen werden, daraus resultiert ein relativ großer Abstand des Nutzers zur Referenzstation.

Der Echtzeit-Positionierungs-Service liefert eine Genauigkeit von 0,5 bis 3m, je nach Qualität des Endgerätes. Genutzt werden kann dieser Service für DGNSS-fähige Einfrequenz-Empfänger mit vorhandenen Ntrip-Client (Computerprogramm für den Datenaustausch mit Ntrip – Network Transport of RTCM via internet Protocol). Die Übertragung der Korrekturdaten erfolgt im standardisierten RTCM 2.1 Format über Internet. Die Rundfunkübertragung (UKW) wurde zum 31.12.2008 eingestellt.

○ *HEPS*

Mit dem Hochpräzisen Echtzeit-Positionierungs-Service werden Genauigkeiten in der Lage von 1-2 cm und in der Höhe von 2-5 cm erreicht. Die aus Trägerphasenmessung abgeleiteten Korrekturdaten werden im RTCM 2.3 und 3.1 Format übertragen. Zur Nutzung des Services wird ein geodätischer L1/L2-GNSS-Empfänger mit GSM-Modem oder mobilen Internet (Ntrip/GPRS und UMTS) benötigt.

Bei dem HEPS-Dienst wird eine Vernetzung der Referenzstationen durchgeführt. Hierbei wird sich das Prinzip zu Nutze gemacht, nicht nur die Informationen einer Referenzstation zu verwenden, sondern den Informationsgehalt des gesamten Referenzstationennetzes. Daraus lassen sich einige Vorteile, wie die Steigerung der Genauigkeit (Minimierung entfernungsabhängiger Fehler), die Vergrößerung der Distanz zwischen der Referenzstation und die Reduktion der Initialisierungszeit zur Mehrdeutigkeitslösung ableiten. Die Vernetzungsergebnisse werden in Form von Flächenkorrekturparametern (FKP), einer virtuellen Referenzstation (VRS) oder nach dem Master-Auxiliary-Concept (MAC) zur Verfügung gestellt [vgl. hierzu SAPOS, 2004].

○ *GPPS*

Bei dem Geodätisch-Präzisen-Positionierungs-Service handelt es sich um einen Postprocessing-Service, bei dem die Postprocessing-Daten über den Internet-Download zur Verfügung gestellt werden. Es können Genauigkeiten, je nach Messdauer, von unter 1 cm in der Lage und unter 2 cm in der Höhe erreicht werden.

Übersicht der im SAPOS[®] Bayern angebotenen Formate [vgl. hierzu SAPOS Bayern, 2009]:

Format	GSM – Einwahl	Internet / NTRIP Mountpoint	unterstützte Satellitennavigati- onssysteme	Vernet- zung	Transformation Message
RTCM 2.1	---	EPS_BY	GPS + GLONASS	Einzelne Basis	Nein
RTCM 2.3 18/19	8924207880	VRS_BY	GPS	VRS	Nein
RTCM 2.3 20/21	8924207881	FKP_BY	GPS	FKP	Nein
RTCM 3.1	8924207882	VRS_3_BY	GPS	VRS	Ja
RTCM 3.1	8924207883	NET_3_BY	GPS	MAC	Ja
RTCM 3.1	---	VRS_3_GG_BY	GPS + GLONASS	VRS	Ja

Tabelle 8: SAPOS Bayern angebotene Formate

2.3.4. Trimble VRSnow (DGNSS/PDGNSS)

Trimble VRSnow ist ebenfalls ein Korrekturdatendienst, bei dem mit Hilfe von differentiellen GNSS eine Verbesserung der Positionierungsgenauigkeit erreicht wird. Der Korrekturdatendienst ist vergleichbar mit den SAPOS-Diensten und verwendet zur Bereitstellung der Vernetzungsergebnisse die Berechnung einer virtuellen Referenzstation.

Es stehen zwei Service-Optionen zur Auswahl [vgl. hierzu Trimble Navigation Limited, 2009]:

- *DGPS-Service-Option*

Dieser Dienst stellt Korrekturdaten für Sub-Meter Genauigkeit zur Verfügung. Die Verbindung kann über GSM oder NTRIP erfolgen. Der Dienst wird mit Hilfe von RTCM 2.1 übertragen.

- *RTK-Service-Option*

Der Dienst liefert Zentimetergenauigkeit unter der Voraussetzung, dass ein hochwertiger (geodätischer) GNSS-Empfänger verwendet wird. Die RTK-Service-Option nutzt die RTCM-Formate 2.3 und 3.0.

Wenn in dieser Diplomarbeit vom Dienst VRSnow geschrieben wird, so handelt es sich dabei um die RTK-Service-Option. D.h., dass ausschließlich diese Option bei den durchgeführten Testmessungen verwendet wurde.

2.3.5. Vergleich der Korrekturdatendienste (Anbieterangaben)

Es folgt ein tabellarischer Vergleich hinsichtlich der Korrekturdatendienste und deren Hauptentscheidungskriterien.

	EGNOS	BEACON	SAPOS EPS	Trimble VRSnow RTK-Option
Datenformat	RTCA DO-229C	RTCM SC 104	RTCM SC 104	RTCM SC 104
Genauigkeit	0,5 m -3 m	< 5 m	0,5 m – 3 m	Submeter
Empfangsbedingungen/ Zuverlässigkeit	Anwendbar, wenn keine Abschattung im Süden	Anwendbar, wo MW-Empfang möglich	Anwendbar, wo Handy-Netzempfang	Anwendbar, wo Handy-Netzempfang
Gebührenpflichtig	nein	nein	ja	ja
GLONASS Bereitstellung	ja	generell möglich, derzeit nur GPS	ja	ja
Zusatzempfänger	nein	ja (MW - Empfänger)	GSM – Modem / Mobiles Internet	GSM – Modem / Mobiles Internet
Datentransfer	Satellitensignal	Mittelwelle (MW)	NTRIP	NTRIP

Tabelle 9: Vergleich der Korrekturdatendienste

Ein weiteres Hauptentscheidungskriterium dürften die Auftretenden **Kosten** darstellen:

- EGNOS

Bei EGNOS fallen keine zusätzlichen Kosten an, da das Korrektursignal von allen Handheldempfängern direkt verarbeitet werden kann.

- BEACON

Die Nutzung von BEACON ist ebenfalls kostenlos. Jedoch wird hierfür ein zusätzliches Empfangsmodul benötigt, da dieses meist nicht im Gerät integriert ist. Die einmalige Beschaffung dessen beläuft sich auf circa. 1000 bis 2000 Euro.

- SAPOS

EPS: Für eine Jahreslizenz fallen 150 Euro an. Hinzu kommen Kosten für die Internet-Verbindung (Kosten tarifabhängig, z.B. T-Mobile Combi Flat S T-Mobile für 44,95 Euro + einmalige Anschlussgebühr von 25,95 Euro. → Gesamtkosten somit circa 60 Euro pro Monat)

HEPS: Die Kosten belaufen sich auf 0,10 Euro pro Minute. Dazu kommen Kosten, die für die Internetverbindung anfallen (z.B. Vodafone Web Connect Fair Flat/BusinessDataPro6 (Volumentarif mit 5 GB) für circa 50 Euro)

- VRSnow

Die Kosten für Netdgps (DGPS-Service-Option) betragen 1140 Euro bei Vorauszahlung oder 99,75 Euro im Monat einschließlich Datenübertragung über das T-Mobile Netz.

Beim RTK-Dienst (RTK-Service-Option) kann zwischen 3 Varianten gewählt werden:

Unlimited (unbegrenzte Nutzung für ein Jahr): 3000 Euro bei Vorauszahlung oder 262,50 Euro monatlich

D-200: Der Dienst kann für 200 Stunden im Monat genutzt werden, für 1790 Euro bei Vorauszahlung oder 156,63 Euro monatlich.

D-100: Der Dienst kann für 100 Stunden im Monat genutzt werden, für 990 Euro bei Vorauszahlung oder 86,63 Euro monatlich.

2.4. GNSS Geräte

Im Handel gibt es eine Vielzahl verschiedener GNSS-Navigationsempfänger. Diese unterscheiden sich, beginnend vom einfachen Freizeitempfänger bis hin zum präzisen geodätischen Empfänger, stark in der Genauigkeit, den Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten sowie dem Preis. Im mittleren Preissegment befinden sich die GNSS-Handheldempfänger, die auch in der Diplomarbeit Anwendung fanden.

In der unten stehenden Tabelle 10 folgt eine Unterscheidung der GNSS-Navigationsempfänger bezüglich Genauigkeit, genutztes Signal, Preisklassement, Anwendung und DGNSS-Korrekturdaten-Anwendung.

Empfängerklasse	Geodätischer Empfänger	GIS-Empfänger	Einfacher Navigationsempfänger
Genauigkeit	1 cm bis 10 cm	Submeter bis 3 m	3m bis 10 m
Genutztes Signal	Code und Phase 2 Frequenzen	Code, teilweise Phase einer Frequenz für Post- processing oder Phasen- glättung	Code, 1 Frequenz
Preisklassement	10 000 -30 000 €	2 000 - 9 000 €	100 - 500 €
Anwendung	Vermessung	GIS-Anwendungen	Freizeit, Fahrzeugnavigation
DGNSS- Korrekturdaten- Anwendung	möglich	möglich	nicht möglich bzw. nur EGNOS möglich

Tabelle 10: Vergleich GNSS Navigationsempfänger

Dieses Kapitel stellt Geräte gängiger Hersteller vor, die vergleichbar mit dem GNSS-Handheldgerät GMS 2 der Firma Topcon sind, welches in der Forstverwaltung eingesetzt wird. Die Geräte werden gemäß Herstellerangaben theoretisch miteinander verglichen. Eine praxisbezogene Analyse der Geräte Topcon GMS 2 und Trimble GeoXT erfolgt im Verlauf dieser Diplomarbeit.

2.4.1. Trimble

Trimble bietet mit insgesamt sechs Handheld-Empfängern die größte Auswahl. Darunter zählen [vgl. hierzu Trimble Kartierung und GIS, 2009]:

- GEOXH
- GEOXT
- GEOXM
- Juno-SB-Handheld
- Juno-SC-Handheld
- Juno-ST-Handheld

Die ersten Drei, wie auch die letzten Drei sind in etwa baugleich. Ihre Unterscheidung beruht auf unterschiedlichen Positionierungsgenauigkeiten oder Zusatzausstattungen. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass Trimble momentan keinen Empfänger anbietet, der GLONASS unterstützt.



Abb. 14: Trimble GeoXT

In dieser Diplomarbeit kam überwiegend der GeoXT zum Einsatz (vgl. hierzu Abb.14). Dieses Gerät zeichnet sich besonders durch seine intuitive Bedienung aus. Das Gerät wurde speziell für Aufgaben entwickelt, die sich bei der GIS-Datenerfassung ergeben. Es besitzt eine integrierte, drahtlose Bluetooth Schnittstelle, die es ermöglicht Zusatzgeräte „anzubinden“ sowie eine WLAN-Verbindung, für den drahtlosen Internetzugang. Diverse Einstellungsoptionen befinden sich als Bildschirmkopien im Anhang. Die technischen Details des Gerätes, sowie ein Vergleich zu Anderen, werden im Abschnitt 2.4.5. behandelt.

2.4.2. Leica

Leica bietet zurzeit nur einen GPS Handheldempfänger an, den GS20 PDM [vgl. hierzu Leica Geosystems, 2009]. Auch Leica bietet keine Möglichkeit GLONASS zu empfangen. Das Gerät beherrscht ebenfalls Bluetooth, das zur kabellosen Verbindung zu anderen Geräten genutzt wird. Es hat, anders als der GeoXT von Trimble, eine normale Tastatur. Desweiteren besitzt der GS20 PDM, als einziger der aufgezeigten Geräte, kein Windows Betriebssystem. Bei dem Bildschirm handelt es sich um ein Graustufen-Display, das sicherlich den Kontrast etwas erhöht, dennoch nicht mehr zeitgemäß erscheint.



Abb. 15: Leica GS20

2.4.3. Topcon

Die Handheldempfänger aus dem Sortiment von Topcon sind der GMS-2 und der GMS-2 PRO. Sie liefern Submetergenauigkeit mit Hilfe von Echtzeitdifferentialkorrektur, wobei der Topcon GMS-2 PRO mehr Funktionen bietet.

Da das Amt für Landwirtschaft und Forsten den Topcon GMS-2 Handempfänger benutzt, wird dieser kurz vorgestellt.



Abb. 16: Topcon GMS-2

Der Dualempfänger nutzt 50 Kanäle für den Empfang von Satelliten beider Satellitensysteme -GPS und -GLONASS, was eine theoretisch bessere/höhere Satellitenverfügbarkeit im schwierigen Gelände (Wald, Gebirgstäler) bedeutet.

Desweiteren sind im Gerät ein elektronischer Kompass und eine digitale Kamera integriert, wodurch digitale Fotos, Attributdaten und die Positionen in einem Arbeitsgang aufgenommen werden können. Mit Hilfe des Kompasses kann der Empfänger auch die Richtung des Bildes erfassen.

Zur Datenerfassung wird die TopPAD Software verwendet, welche Raster- und Vektordaten verarbeiten kann. Die Software arbeitet mit dem Shapefile-Format [vgl. hierzu Topcon Europe Positioning, 2009].

2.4.4. Magellan



Abb. 17: Magellan MobileMapper CX

Der Mobile Mapper CX von Magellan bietet 14 Kanäle für die Positionsbestimmung mittels GPS. Da der Mobile Mapper CX mit einer offenen Plattform konzipiert ist, kann ein benutzerspezifisches GIS-Anwendungsprogramm ausgewählt werden [vgl. hierzu Magellan GPS, 2009]

Die Bürosoftware MobileMapper Office verbindet den Empfänger mit dem GIS Basissystem. Mit der Software wird auch der Datenexport/-import in die unterstützten Formate .shp (ESRI), .mif (Mapinfo), .dxf (Autodesk) und .csv durchgeführt.

Magellan bietet mit dem MobileMapper 6 ein weiteres Gerät mit integrierter Digitalkamera an. Dieser Empfänger ist aber zum Vergleich mit den bereits vorgestellten Geräten nicht geeignet, da es nur eine Genauigkeit von 2-5 m im SBAS-Modus und 1-2 m im Postprocessing bietet. Aus diesen Gründen wird auf dieses Gerät nicht weiter eingegangen.

2.4.5. Vergleich ausgewählter Empfänger (Herstellerangaben)

	Trimble GeoXT	Leica	Topcon GMS-2	Magellan Mobile- Mapper CX
Echtzeit Genauigkeit (Code-DGNSS)	Submeter	40 cm	50 cm	Submeter
Postprocessing Genauigkeit (mit Trägerphase)	H/V: 1cm - 30 cm	H: 5mm – 10mm + 2ppm V: 2 x H	H: 3mm + 0,8ppm V: 4mm + 1,0ppm	H/V: unter 30 cm (mit Präzisionsan- tenne)
GLONASS-fähig	nein	nein	ja	nein
EGNOS-fähig	ja	ja	ja	ja
BEACON-fähig	ja	Ja	ja	ja
RTCM Korrekturmpfang	ja über GPRS/NTRIP	ja über GPRS/NTRIP	ja über GPRS/NTRIP	ja über GPRS/NTRIP
Betriebsdauer bei GNSS Betrieb	9 Stunden	keine Angabe	7,5 Stunden	8 Stunden
Kanäle (L1 + SBAS)	14	12	50	14
Display	16-bit-FarbTFT Touchscreen, 3,5“ 480 × 640 Pixel	LCD- 16 Graustufen, 240 × 240 Pixel	Farbdisplay QVGAw, Touchscreen 3,5“ 240 × 320 Pixel	LCD- Farbbildschirm, 240 × 320 Pixel,
Speicherkapazität ab Werk	Intern 1 GB Flash-Speicher, erweiterbar	32 MB ATA-Flashkarte, erweiterbar	Intern 256 MB Flash-Speicher, erweiterbar	Intern 128 MB Flash-Speicher, erweiterbar
Betriebssystem	Windows Mobile 6 (Classic Edition)	keine Angabe	Microsoft Win- dows CE.NET 5.0	Microsoft Win- dows CE.NET 5.0
Anschluss externer Antenne möglich	ja	ja	ja	ja
Digitalkamera integriert	nein	nein	ja	nein
Gewicht	0,80 kg	0,65 kg	0,7 kg	0,48 kg
Kosten (zzgl. MwSt.)	ab ca. 4500,- € Ausstattungsab- hängig	4640 - 8210 € je nach Ausstattung	4500 - 6000,- € je nach Ausstattung	2100 - 3600,- € je nach Ausstattung

Tabelle 11: Vergleich ausgewählter Handheldgeräte (Herstellerangaben)

3. GNSS in Verbindung mit ausgewählten Korrekturdiensten

Um die verschiedenen Korrekturdatendienste miteinander vergleichen zu können, bedurfte es praktischer Messungen unter realen Bedingungen. Auch die Dauer einer Messung war ausschlaggebend. Wir entschieden uns für eine Dauer von zwei Stunden pro Messung. Diese Zeit erschien uns zweckmäßig, um ein qualitatives wie auch quantitatives Ergebnis zu erzielen. Rechnet man die Dauer der GPS-Handheldmessungen zusammen, so kommt man auf 144 Stunden reine Messzeit.

Jegliche Messungen wurden, wenn nicht anderes beschrieben, mit dem Handheldempfänger GeoXT der Firma Trimble durchgeführt. Weiterhin zu beachten ist die Tatsache, dass die durchgeführten Messungen reine Lagemessungen sind. Auf die dritte Dimension (Höhe) wurde somit verzichtet.

3.1. Grundsätzliches

Dieser Abschnitt besteht aus einer Beschreibung des Messgebietes sowie einer detaillierten Erläuterung der verwendeten Messpunkte.

Bei den durchgeführten Testmessungen wurden die Korrekturdatendienste EGNOS, BEACON (mit dem Empfänger BR 1 von Topcon), der HEPS/EPS-Dienst von SAPOS und, wie schon erwähnt, die RTK-Service-Option von Trimble VRSnow verwendet.

3.1.1. Messgebietsbeschreibung

Das, für die Messungen benötigte Gebiet, fanden wir südwestlich sowie nördlich von Würzburg. Die Anforderungen an Dieses waren eine schnelle Erreichbarkeit, das Vorhandensein realer Bedingungen (Wald), sowie für die Testmessungen benötigten Horizontabschattungen. Folgende Bilder geben einen Überblick über das Gebiet.

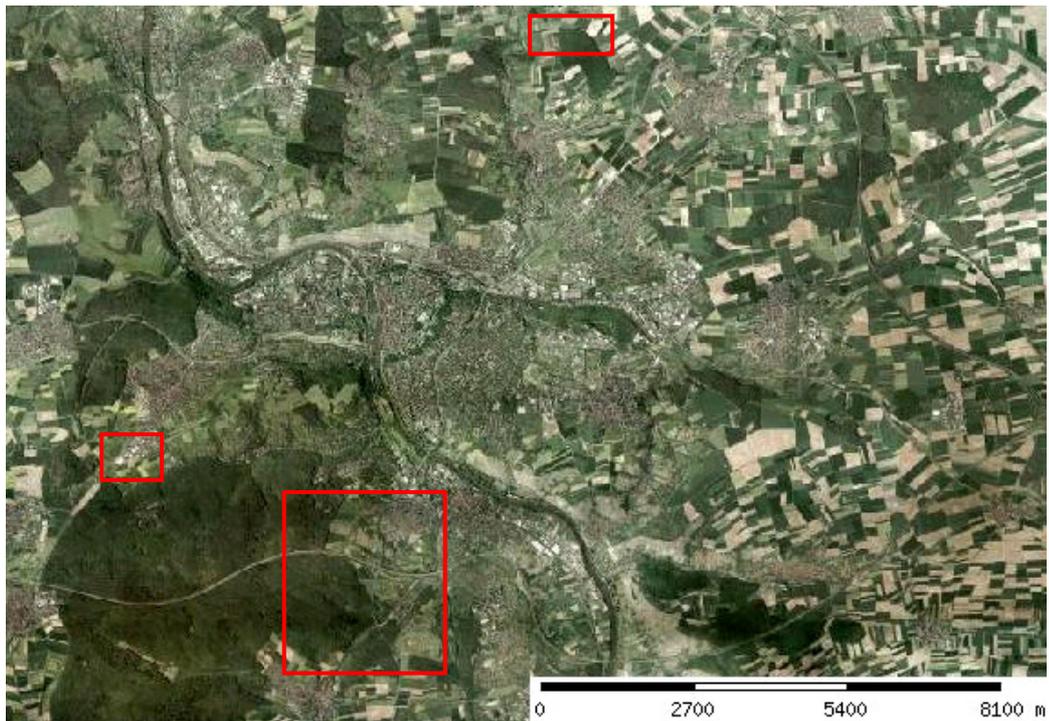


Abb. 18: Gesamtüberblick (rot eingegrenzte Flächen stellen die Messgebiete dar)

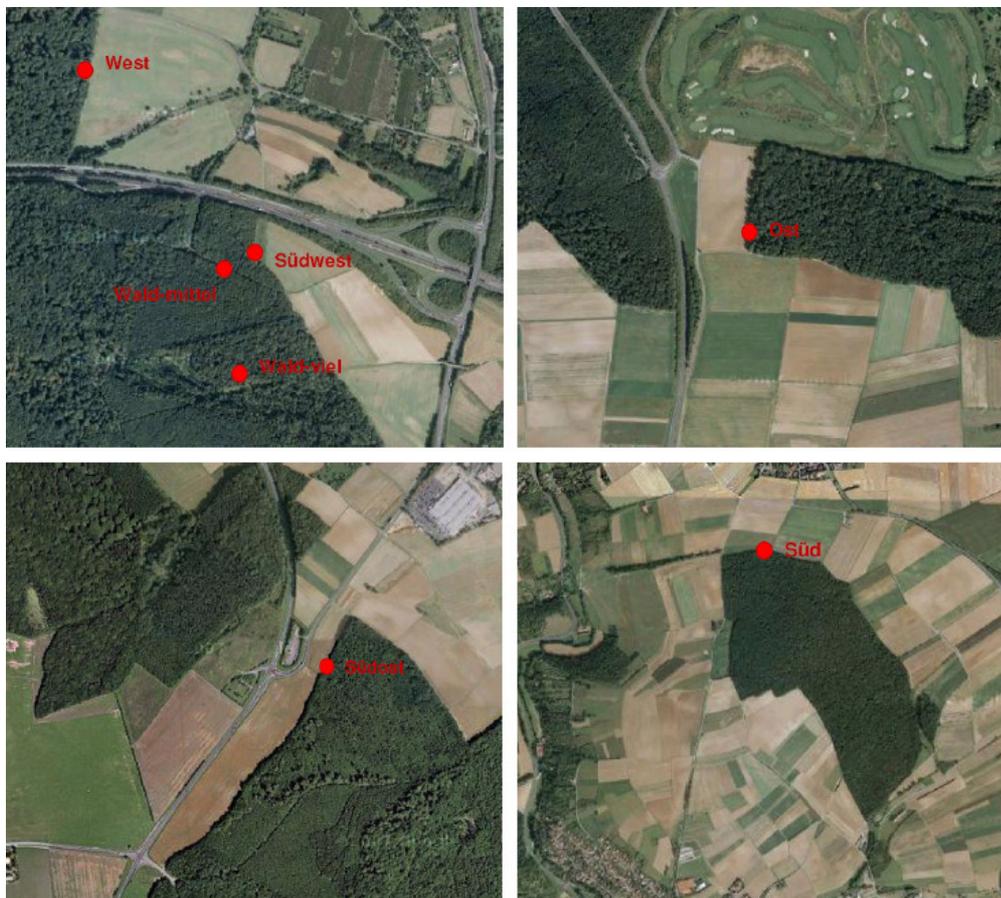


Abb. 19: Lage der einzelnen Messpunkte (mit Abschattung)



Abb. 20: Messpunkt „freie Lage“

3.1.2. Auswahl, Anlage und Dokumentation der Messpunkte

Wegen der Bahnneigung (Inklination) der Satelliten ergibt sich keine gleichmäßige Verteilung über den Horizont. Aus diesem Grund sind beispielsweise in Deutschland im Norden keine Satelliten sichtbar („Satellitenloch“)(vgl. Abb. 21.). Auf eine Horizontabschattung im Norden wurde verzichtet, da davon auszugehen ist, dass eine nördliche Abschattung kaum eine Beeinträchtigung bei der Positionsbestimmung darstellt.

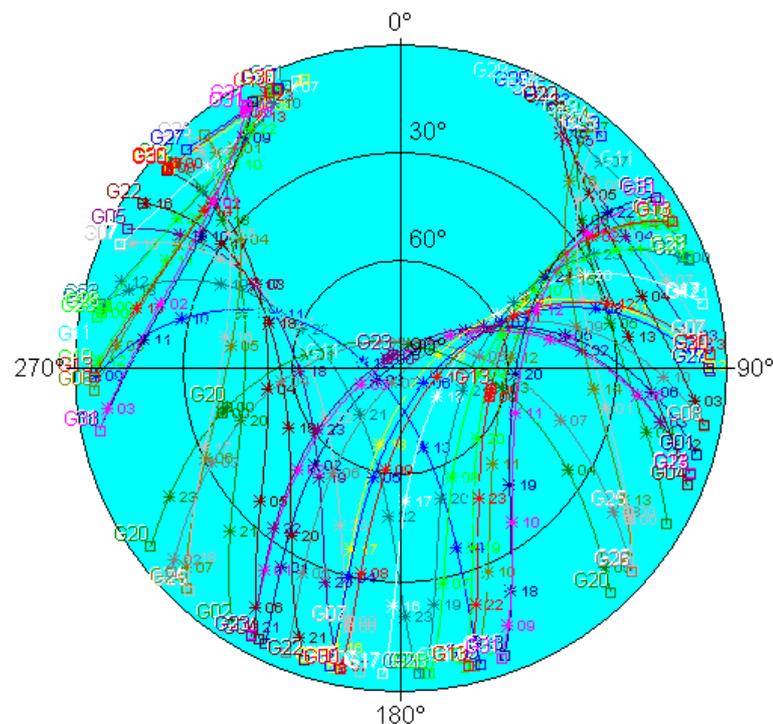


Abb. 21: „Satellitenloch“ in Würzburg

Folgende Situationen hinsichtlich der Horizontabschattungen sollten erreicht werden (vgl. hierzu Abb. 19):

- keine Horizontabschattung („freie Lage“) – Punkt auf Fachhochschuldach
- östlicher Horizont abgeschattet – Punkt Ost
- südöstlicher Horizont abgeschattet – Punkt Südost
- südlicher Horizont abgeschattet – Punkt Süd
- südwestlicher Horizont abgeschattet – Punkt Südwest
- westlicher Horizont abgeschattet – Punkt West
- kompletter Horizont mäßig abgeschattet – Punkt Wald-mittel
- kompletter Horizont stark abgeschattet – Punkt Wald-viel

Auf dem Fachhochschuldach benutzten wir den vorhandenen Messpfeiler mit der Bezeichnung FH 02 (vgl. hierzu Abb. 20). Dieser bietet eine bestmögliche Horizontfreiheit und simuliert somit einen Punkt der optimalen Bedingungen aufweist. Alle anderen Messpunkte befinden sich am Waldrand beziehungsweise im Wald.

Nachdem die Wahl des Standortes gefallen war, wurde der jeweilige Punkt mit einem Eisenrohr dauerhaft vermarktet.

Zur Ergebnisanalyse der GNSS-Handheldmessungen war es nötig die Messpunkte mit übergeordneter Genauigkeit, in einem gemeinsamen System zu bestimmen. Hierfür wurde das System Bayern 12 ausgewählt.

Die Koordinierung der Punkte im übergeordneten System, erfolgte mittels geodätischen GPS-Empfängers sowie Tachymeters. Hierzu bestimmten wir auf den vorhandenen Freiflächen unweit der Messpunkte je drei Anschlusspunkte. Die Koordinierung der Anschlusspunkte erfolgte in Echtzeit mit GPS (SAPOS HEPS-Dienst). Die Beobachtungsdauer betrug jeweils 30 Sekunden. Nach tachymetrischer Einpassung über die drei Anschlusspunkte, erfolgte die Aufnahme der Messpunkte mittels polarer Punktbestimmung.

Die Ergebnisse der GPS-Messung wurden als CSV-Datei und DC-File exportiert. Im Nachgang erfolgte die Berechnung der Stationierung (Einpassung) mit dem Cremer. Als Grundlage hierfür wurden die Anschlusspunkte (CSV-Datei) und die Beobachtungen (Richtungen und Strecken - DC-File) eingelesen. Dieses Verfahren wurde bei allen Messpunkten analog durchgeführt.

Der Pfeiler 02 auf dem FH-Dach musste nicht koordiniert werden, da dessen Koordinaten bereits im System Bayern 12 vorlagen.

Die Dokumentation der Messpunkte und deren Horizontsituation geschieht in dieser Diplomarbeit mit Hilfe von Panoramen. Jedes der Panoramen besteht aus mindestens 10 Einzelbildern, die nachbearbeitet und zusammengesetzt wurden.

Bei Punkten am Waldrand, dient dazu ein horizontales Panorama, das senkrecht zum Waldrand aufgenommen wurde und einen Überblick über die Lage des Punktes verschafft. Zusätzlich zu Diesem kommt ein weiteres Panorama, das Vertikale, das den Blick vom Messpunkt in Richtung Zenit wiedergibt und einen vertikalen Bildwinkel von circa 180 Grad besitzt. Je nach Messpunkt gibt es ein vertikales Panorama oder zwei vertikale Panoramen, d.h. ein Vertikalbild mit Nord-Süd-Verlauf sowie eines mit Verlauf, welcher sich aus der Waldrandrichtung ergibt.

Bei Punkten im Wald besteht die Dokumentation aus zwei vertikalen Panoramen.

Die Dokumentation der einzelnen Messpunkte befindet sich im Abschnitt 3.3.. Um Diese übersichtlich zu gestalten, erfolgte die Darstellung des jeweiligen Messpunktes auf einer DIN A4 Seite. Dabei zeigt die obere oder die linke Darstellung die Situation mit Belaubung, die Untere beziehungsweise die Rechte, die Situation ohne Belaubung. Die Blickrichtungen sowie Himmelsrichtungen sind in der Dokumentation vermerkt.

In der jeweiligen Grafik sind die Panoramen zur besseren Anschaulichkeit in 3D visualisiert. Dazu ist das vertikale Panorama leicht nach vorn gekippt, das horizontale leicht aufrecht gestellt worden. Die Kanten der Panoramen sind leicht abgerundet, sodass der 3D-Eindruck verstärkt wird. Diese Darstellung folgt keiner Norm, vielmehr ist sie das Ergebnis einer zweckmäßigen Darstellung, die ohne Fischaugen-Objektiv (extremes Weitwinkel Objektiv), erreicht werden kann. Bei den beiden Punkten im Wald wurde auf die Darstellung in 3D verzichtet, da diese hier nicht übersichtlich ausfiel. Daher sind bei Diesen lediglich die Kanten abgerundet.

3.1.3. Verwendete Komponenten

3.1.3.1. Hardware

Für die Koordinierung der Messpunkte wurde das GPS-System Trimble 5800 und der Tachymeter Trimble 3603 der FH Würzburg-Schweinfurt verwendet.

Die Dokumentation der jeweiligen Horizontsituation erfolgte mit der Kamera Nikon D 100 der FH Würzburg-Schweinfurt und dem dazugehörigen Photo-Stativ.

Die eigentlichen Testmessungen unter den verschiedenen Horizontsituationen wurden mit den GPS/GNSS-Handheld Geräten GeoXT der Firma Trimble und dem GMS-2 der Firma Topcon durchgeführt.

3.1.3.2. Software

Die Koordinatenbestimmung der Messpunkte erfolgte mit dem Programm Caplan/Cremer der Cremer Programmentwicklung GmbH.

Zum Zweck der GNSS-Positionsaufzeichnung kam die Software TerraSync des Trimble GeoXT sowie die TopPad Software des Topcon GMS-2 zur Anwendung.

Mit dem Programm GPS Pathfinder Office, einer Software von Trimble, erfolgte die Auswertung der Handheld – Testmessungen.

Zur Darstellung und zur Analyse der Messergebnisse wurde die Software Autodesk Map 2004 der Firma Autodesk und Microsoft Office Exel 2007 verwendet.

Zum Vergleich der verwendeten Satellitenanzahl mit der möglichen Satellitenanzahl wurde die Trimble Office Planning Software verwendet.

Für die Erstellung der Panoramen wurde die Software Hugin 0.6 mit den Zusatztools (Pano-tools) von Dr. Helmut Dersch (FH Furtwangen) benutzt. Die Verknüpfung der Panoramen untereinander erfolgte in Microsoft Office Word 2007.

3.1.4. Aufnahme

3.1.4.1. „freie Lage“

Alle Messungen dieser Kategorie wurden auf dem Messpfeiler 02, der sich auf dem Dach der FH Würzburg-Schweinfurt befindet, durchgeführt. Da der Messpfeiler eine ausreichende Auflagefläche bietet, konnte das Handheldgerät problemlos auf Diesen zentriert sowie nach Norden ausgerichtet werden.

Um die Aussagekraft des Ergebnisses zu erhöhen, wurde die Messung in zwei Messepochen unterteilt. In jeder dieser Messepoche wurden 25 Positionen, mit jeweils dem identischen Korrekturdatendienst, bestimmt. Die Aufzeichnung pro Messepoche geschah über 2 Stunden, wobei alle 5 Minuten eine automatische Positionsaufzeichnung erfolgte.

Außerdem wurde die Präzisionseinstellung des GeoXT auf das Minimum gestellt, sodass alle Satelliten über 5 Grad Elevation registriert wurden. Desweiteren wird hiermit ein P_{dop}-Wert von 20 sowie ein SNR-Wert von 33 dB festgelegt. D.h. es erfolgt eine Positionsaufzeichnung wenn der P_{dop}-Wert ≤ 20 ist. Satelliten, die ein Signal Rausch Verhältnis (SNR) von ≤ 33 dB haben, werden nicht zur Positionsaufzeichnung verwendet.

3.1.4.2. „unter wechselnden Horizontabschattungen“

Da das genutzte Handheldgerät über keine Halterung für einen Lotstab verfügte, wurde ein Stativ zentrisch (mit Schnurlot) über den Messpunkten aufgestellt. Um die Auflagefläche des Stativtellers zu vergrößern, wurde ein Holzteil angefertigt und am Stativteller befestigt (vgl. hierzu Abb. 22).



Abb. 22: Prinzipskizze Holzteil mit GeoXT

Die Antenne des Handheldgerätes wurde zentrisch (mit Schnurlot) über der Vermarkung, mit der zuvor beschriebenen Holzkonstruktion angebracht und nach Norden ausgerichtet.

Die Aufnahme wurde in zwei Messepochen gegliedert, wobei die erste Messepoche unter Belaubung stattfand. Nach Abfall des Blattwerks erfolgte Messepoche zwei.

Auf jeden Messpunkt fand pro Korrekturdatendienst eine zweistündige Beobachtung statt, wobei festgelegt wurde, dass automatisch jede fünfte Minute eine Position aufgezeichnet wird. Daraus ergibt sich eine Messreihe mit je 25 Positionen.

Wie unter 3.1.4.1. beschrieben, erfolgte auch hier die Einstellung der Präzision auf das Minimum.

3.1.5. Auswertung

Für die Auswertung der Handheld-Messungen wurde für jede Messung ein neues Projekt angelegt und in Diesem das System Bayern 12 eingestellt. Die Übertragung der Messergebnisse in Form von SSF-Dateien geschah mit Hilfe des Übertragungsmoduls des GPS Pathfinder Office. Im Anschluss wurde die SSF-Datei eingelesen. Danach erfolgte der Export aller Positionen und, der des gewichteten Mittels als DXF-Datei. Weiterhin wurde eine ASCII-Datei mit den Koordinaten der Positionen und anderen Angaben (Pdop,etc.) ausgegeben.

Mit Hilfe der exportierten DXF-Dateien erfolgte die Darstellung der Streuungen in einer Zeichnung. Die Zeichnungen beinhalten somit die berechnete Sollposition, die Mittelposition, die aufgezeichnete Positionen sowie Distanzkreise.

Zur weiteren Analyse wurde die exportierte ASCII-Datei in Excel eingelesen. Die verwendete Satellitenanzahl zum Zeitpunkt der Positionsaufzeichnung aus der SSF-Datei wurde ebenfalls in Excel eingetragen. Auch die jeweilige Sollposition der Messpunkte sowie die gewichtete Mittelposition wurden in der Datei vermerkt.

In der beschriebenen Excel-Datei erfolgte die Berechnung der „absoluten“ linearen Abweichungen der 25 Positionen von der Sollposition und der „relativen“ linearen Abweichung zur Mittelposition. Aus den jeweiligen linearen Abweichungen der 25 Positionen wurde die Standardabweichung (RMS) berechnet.

Im Falle der Standardabweichung „absolut“ (bezogen auf den Sollpunkt) mit:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2}{n}}$$

$$\text{mit } \varepsilon_i = (b - \mu)$$

ε_i = zufälliger Fehler der Messung i

b = Messwert

μ = Erwartungswert

n = Anzahl der Messungen

Im Falle der Standardabweichung „relativ“ (bezogen auf den Mittelwert aller Messungen) mit:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n-1}}$$

$$\text{mit } v_i = (m - b)$$

v_i = Verbesserung für den Messwert i

m = Mittelwert aus allen Messungen

b = Messwert

n = Anzahl der Messungen

Darüber hinaus wurden die Anzahl der Positionen mit einem „absoluten“ linearen Abstand von weniger als 1 Meter, 1,5 Metern und 2 Metern zur Sollposition ermittelt.

3.2. Bewertung der Messungsergebnisse unter optimalen Bedingungen („freie Lage“)

Im Folgenden wird die Lage sowie Auffälligkeiten der aufgezeichneten Positionen, die unter Verwendung der verschiedenen Korrekturdatendienste zustande kamen, beschrieben. Desweiteren erfolgt eine grafische Gegenüberstellung der Messepochen. Dabei handelt es sich bei den roten Kreuzen um die aufgezeichneten Positionen. Der blaue Kreis stellt das Mittel der aufgezeichneten Positionen dar. Der Maßstab der Grafiken beträgt rund 1:100.

Am Ende des Kapitels erfolgt eine Gegenüberstellung der Korrekturdatendienste hinsichtlich ihrer Qualitäten (Genauigkeit, Zuverlässigkeit).

3.2.1. Unkorrigiert

Die unkorrigierte Positionsbestimmung wurde zum Einen mit dem Gerät GeoXT der Firma Trimble, zum Anderen mit dem Gerät Topcon GMS 2 der Forstverwaltung durchgeführt. Das Topcon Gerät hat theoretisch gesehen einen Vorteil, da es auch GLONASS empfängt, konnte diesen aber wie erwartet nicht zur Genauigkeitssteigerung nutzen.

3.2.1.1. Trimble GeoXT

Der Mittelwert des P_{dop} im Moment der Positionsaufzeichnungen beider Aufnahmen ist nahezu identisch (vgl. hierzu Tabelle 12 (Seite 52)). Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass eine ähnlich gute Satellitenkonstellation herrschte und die Messung 1 und 2 gut miteinander verglichen werden können. Trotz dessen sind bei beiden Messungen erhebliche Unterschiede zu erkennen.

Die erste Messung weist eine systematische Verschiebung der gemessenen Positionen nach Norden auf, woraus eine absolute Abweichung der Messpunkte von circa 2,2 m vom Sollwert resultiert. Relativ liegen die Punkte aber sehr eng beieinander.

Bei der zweiten Messung ist nur eine sehr geringe Abweichung der gemessenen Punkte von der Sollposition in südöstlicher Richtung erkennbar. Erstaunlich ist, dass hier 24 der 25 aufgezeichneten Positionen eine lineare Abweichung von weniger als 1,5 m zur Sollposition aufweisen.

Trotz der beiden unterschiedlichen Ergebnisse weisen beide Messungen, für uns etwas überraschend, eine hohe absolute Genauigkeit auf. Aus diesem Grund entschlossen wir uns, noch eine dritte Messung durchzuführen. Das Messergebnis stellt, mit 24 von 25 Positionen, deren lineare Abweichung weniger als einen Meter vom Sollpunkt beträgt, eine noch höhere Absolutgenauigkeit dar. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die sehr gute Satellitenkonstellation während der Messung zurückzuführen.

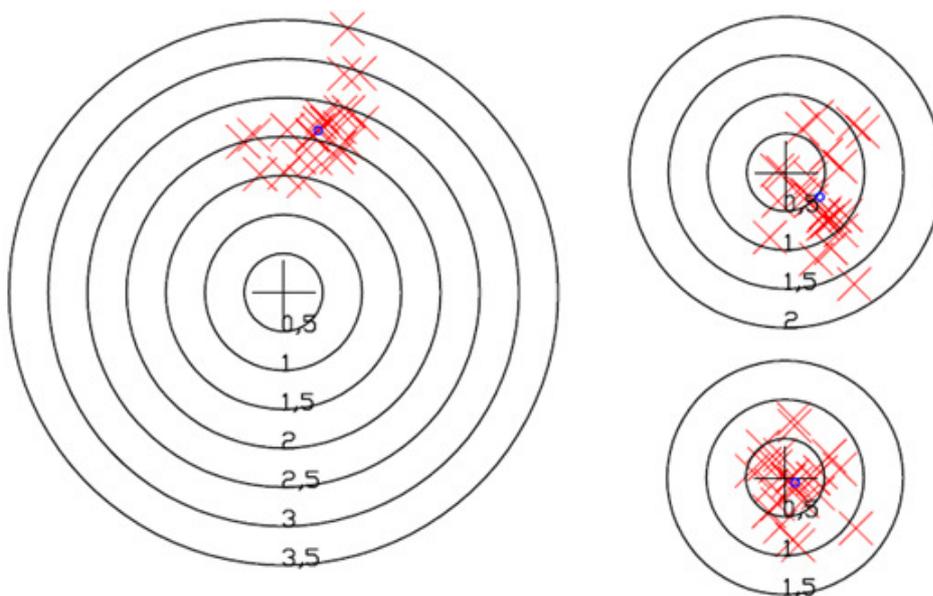


Abb. 23: unkorrigiert GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (oben rechts), Messung 3 (unten rechts)

3.2.1.2. Topcon GMS 2

In beiden Messepochen ist eine von der Sollposition systematische Verschiebung Richtung Nordosten zu erkennen, d.h. die Fehler im Rechts- und Hochwert sind ungefähr gleich groß. Während bei Messung 1 die Punkte linienhaft verteilt sind, ist bei der Messung 2 eine flächenhafte Verteilung zu beobachten. Die relative Standardabweichung der Positionen bei beiden Messungen ist mit einer Abweichung kleiner als $\pm 1\text{m}$ gegeben (vgl. hierzu Tabelle 12 (Seite 52)). Die Absolutgenauigkeit liegt jeweils innerhalb von 2 m.

Ein unmittelbarer Vergleich beider Messungen ist jedoch nicht gegeben, da das Topcon Gerät der Forstverwaltung weder Pdp noch Satellitenanzahl aufzeichnete. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass zur ersten Messepoche bessere Bedingungen vorlagen, da hier der Pdp Wert, der mit Trimble Planning ermittelt wurde, vorteilhafter war.

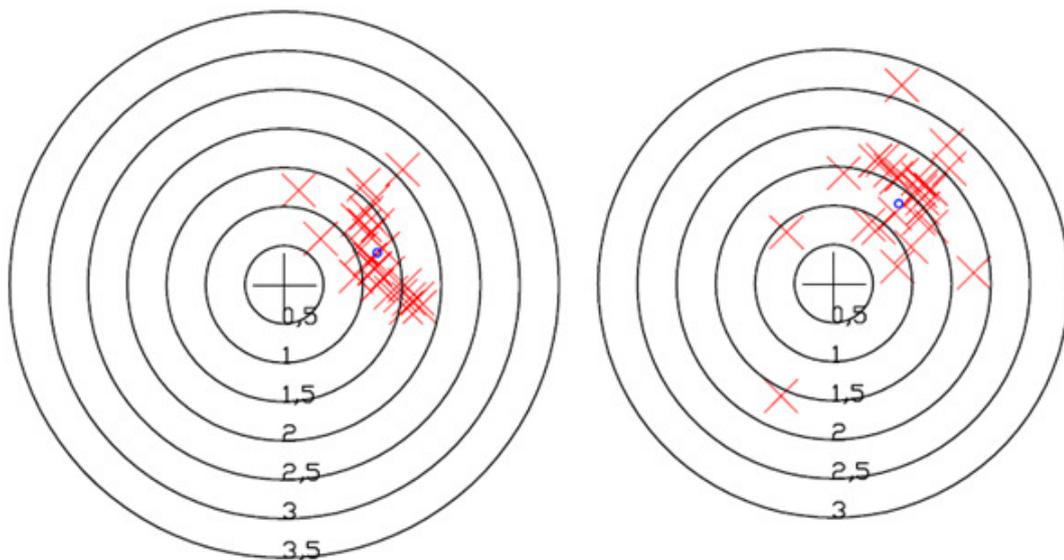


Abb. 24: unkorrigiert GMS-2; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.2. EGNOS

Die Ergebnisse beider Messungen sind gut miteinander vergleichbar, da sie unter gleichartigen Bedingungen stattfanden.

Beide Messungen weisen eine systematische (absolute) Verschiebung zur Sollposition von circa einem Meter in Richtung Norden auf (vgl. hierzu Tabelle 12 (Seite 52)). Das bedeutet, der Fehler der Positionierung ist im Hochwert größer als im Rechtswert. Die Punkte verteilen sich bei der ersten Messung linienhaft in Richtung Nord-Süd, bei der zweiten Messung kreisförmig im Norden. Bei dem zweiten Test liegen die aufgezeichneten Positionen geringfügig dichter beisammen, was eventuell durch den besseren Mittelwert des P_{dop} zu erklären ist. Die zweite Messung weist im Vergleich zu anderen getesteten Korrekturdienstleistungen eine gute Relativgenauigkeit auf. In beiden Messepochen konnten 19 Positionen innerhalb des Vergleichsradius von 1,5 Metern aufgezeichnet werden.

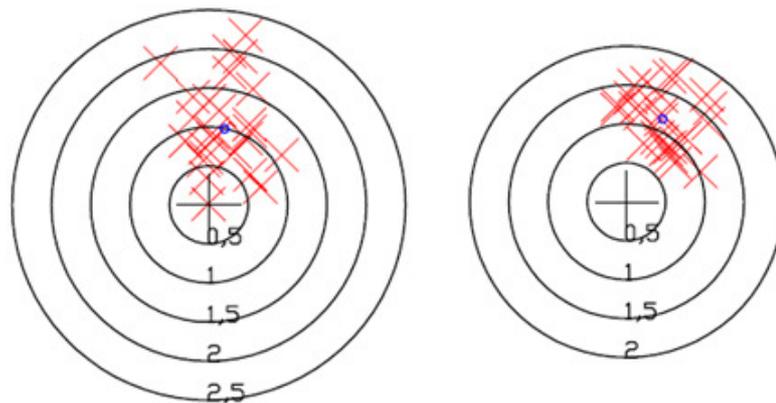


Abb. 25: EGNOS GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.3. SAPOS EPS

Die Verwendung dieses Korrekturdienstes erfolgte mit dem Gerät GeoXT sowie dem geodätischen Empfänger 5800 von Trimble.

3.2.3.1. Trimble GeoXT

Der Verschiebungsvektor der Positionen zum Absolutpunkt ist in beiden Fällen identisch (Nordwest). Die größte Abweichung zur Sollposition liegt bei circa 2,5 m, beziehungsweise 3 m. Eine etwas bessere Punktkonzentration um das Mittel bei der ersten Messung kann durch eine geringfügig bessere Satellitenkonstellation erklärt werden (vgl. hierzu Tabelle 12 (Seite 52)).

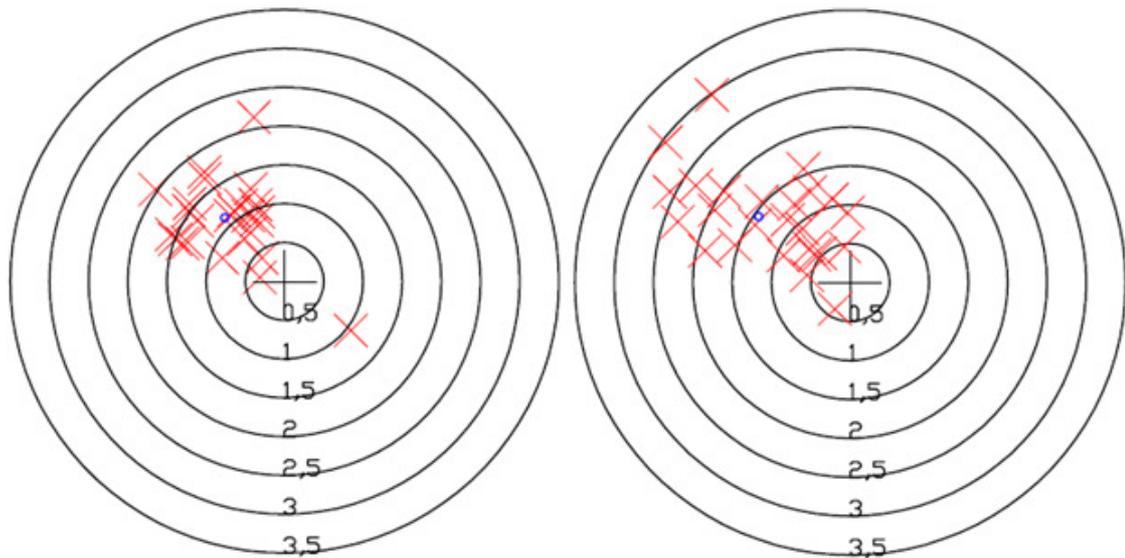


Abb. 26: SAPOS EPS GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.3.2. Trimble 5800

Es ist bei beiden Messungen eine systematische Verschiebung in Richtung Nordwest zu erkennen. Die etwas besseren Messergebnisse des ersten 5800er Tests sind auf die etwas bessere Satellitenkonstellation während der Messung zurückzuführen. Dass bei beiden Messungen eine geringe Streuung der Punkte vorhanden ist, verdeutlicht auch die Standardabweichung (relativ) in der Tabelle 12. Insgesamt konnten mindestens 23 Positionen innerhalb eines Radius von 1,5 Metern vom Referenzpunkt aufgezeichnet werden.

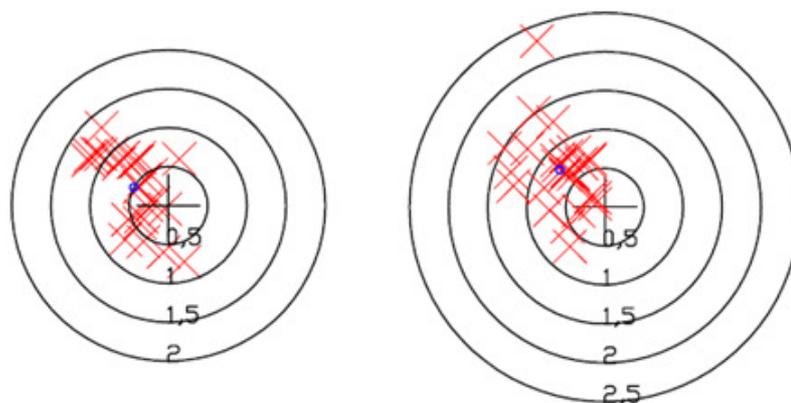


Abb. 27: EPS Trimble 5800; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.4. BEACON

Wiederum erfolgte die Verwendung der beiden Handheldempfänger. Auch diesmal kann Topcon keinen Nutzen aus den zusätzlichen GLONASS Satelliten ziehen und schneidet ebenfalls schlechter ab.

3.2.4.1. Trimble GeoXT

Bei beiden Messungen ist eine geringe systematische (ca. 0,7 m/Standardabweichung absolut) Abweichung bei kreisförmiger Punktverteilung nach Nordosten erkennbar. Beide Tests zeigen eine geringe Streuung der Punkte untereinander. Dies bestätigt auch die Standardabweichung relativ (vgl. hierzu Tabelle 12). Die bessere Punktverteilung bei der ersten Messung ist auf den geringfügig besseren Mittelwert des Pdp und der damit verbundenen besseren Satellitenkonstellation während der Aufzeichnung der Positionen zurückzuführen. Beide Messungen weisen eine gute Absolutgenauigkeit mit mindestens 24 der 25 Positionen auf, deren linearer Abstand zur Sollposition weniger als 1,5 m beträgt.

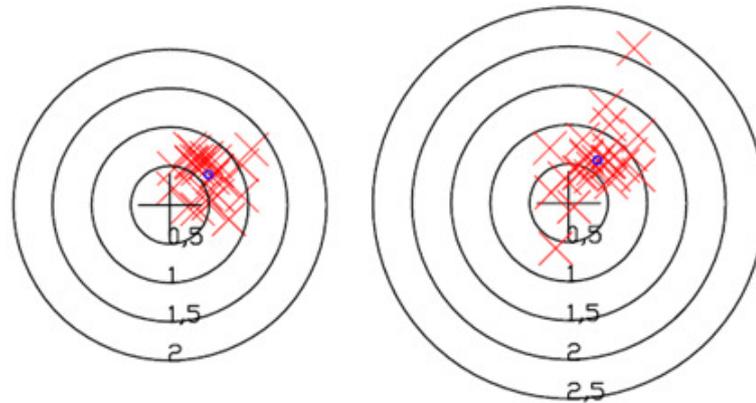


Abb. 28: BEACON Trimble GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.4.2. Topcon GMS 2

Der Mittelwert des P_{dop} sowie der Satellitenanzahl beider Messungen sind vergleichbar. In beiden Fällen ist eine systematische Verschiebung in Richtung Norden vorhanden, die bei Messung 1 jedoch erheblich größer ausfällt. Auffallend ist hier außerdem eine Punkthäufung, bestehend aus fünf Punkten (ganz im Norden vom Absolutpunkt), die allesamt hintereinander aufgezeichnet wurden. Eine Erklärung hierfür liefert der P_{dop}, der während der Aufzeichnung dieser fünf Punkte erheblich ungünstiger war. Betrachtet man die Absolutgenauigkeit, so lieferte die zweite Messung brauchbarere Ergebnisse. Bei der Messung 1 ist jedoch eine bessere Relativgenauigkeit vorhanden.

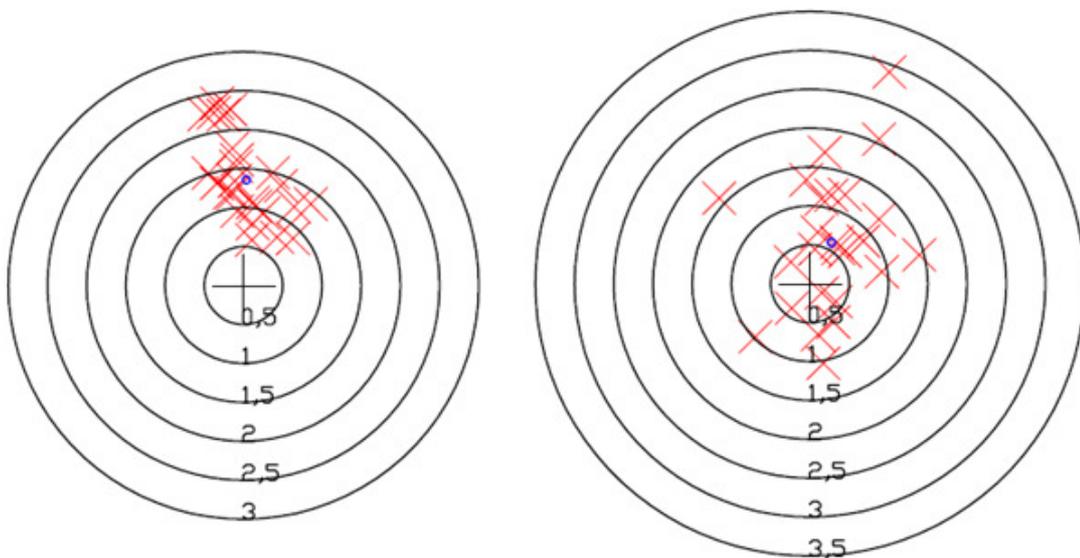


Abb. 29: BEACON Topcon GMS-2; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.5. Trimble VRSnow

Trotz eines im Verhältnis zu den anderen Testmessungen schlechteren Mittelwerts des P_{dop} während beider Messungen (vgl. hierzu Tabelle 12), weisen beide Tests eine sehr hohe Punktkonzentration um den Sollwert auf. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass mindestens 23 der 25 aufgezeichneten Positionen im Umkreis eines Meters von der Sollposition liegen.

Bei der ersten Messung ist eine leichte Nordwest Verschiebung der Positionen zu erkennen. Aufgrund dessen ergibt sich eine etwas größere Standardabweichung absolut.

Durch die extrem gute Punktverteilung um den Sollwert bei Messung 2, ergibt sich, da sich die Mittelposition nur 7 cm von der Sollposition entfernt befindet, eine nahezu identische Standardabweichung absolut und relativ.

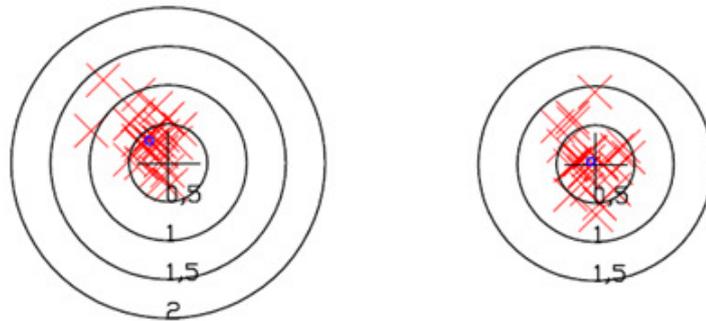


Abb. 30: VRSnow GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.6. SAPOS HEPS

In beiden Fällen herrschten wiederum nahezu identische Bedingungen. Die Punktverteilung der zwei Messungen ist wie beim Dienst VRSnow gut um die Sollposition konzentriert. Bis auf zwei Positionen, die sich in der zweiten Messepoche etwas weiter entfernt vom Absolutpunkt befinden, ergibt sich letztlich ein nahezu identisches Ergebnis. Die gute Verteilung um den Sollpunkt wird durch einen Vergleich, der sich ergebenden Standardabweichung absolut und relativ, deutlich. Diese Werte weichen nur geringfügig voneinander ab (vgl. hierzu Tabelle 12).

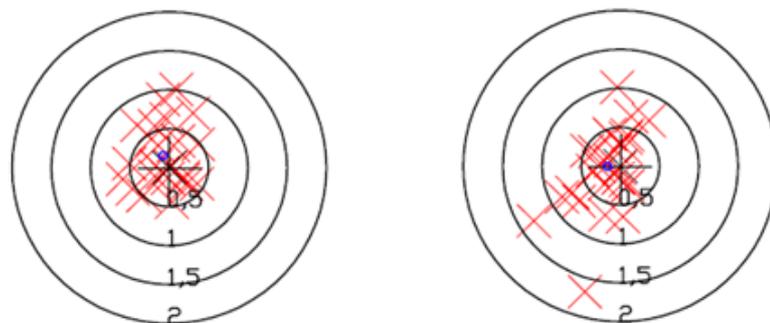


Abb. 31: SAPOS HEPS GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)

3.2.7. Ergebnisvergleich

Als Erstes kann bemerkt werden, dass alle Messungen miteinander verglichen werden können, da der Pdrop durchgängig gute Werte aufweist.

Beim Vergleich aller Ergebnisse des Kapitels 3.2. fällt auf, dass das Topcon GMS-2 ohne, und mit dem Korrekturdatendienst BEACON, im Vergleich zu dem Trimble GeoXT verhältnismäßig schlecht abschneidet, (vgl. hierzu Tabelle 12). Dies war von uns nicht in diesem Maße erwartet worden, da bei dem Topcon GMS-2 sowohl GPS- als auch GLONASS-Satelliten verwendet werden. Zwar war nicht von einer besseren Genauigkeit auszugehen, da eine größere Satellitenanzahl nur die Verfügbarkeit und nicht zwangsläufig die Präzision erhöht. Jedoch hätte die Genauigkeit nicht schlechter ausfallen sollen, als die des GeoXT.

Betrachtet man Abb. 32, wird ersichtlich, dass im rechten Teil des Diagramms (bis unkorrigiert Trimble (2)) alle Punkte nahe an der Sollposition liegen und somit untereinander geringe Punktabstände haben. Dies wird auch dadurch deutlich, dass die Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) und die Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) ähnlich groß ist. Der linke Teil des Diagramms zeigt im Gegensatz dazu, dass die Punkte relativ gesehen zwar dicht beieinander liegen, aber absolut einen größeren Abstand zur Sollposition aufweisen.

Wie zu erkennen ist, liefern die Korrekturdatendienste SAPOS HEPS, Trimble VRSnow und BEACON (in Verbindung mit dem GeoXT) die besten Ergebnisse. BEACON weist bei der Standardabweichung absolut, etwas höhere Werte im Vergleich zu den beiden anderen Diensten auf. Dies ist auf die leichte Verschiebung der Punktwolken in nordöstlicher Richtung zurückzuführen. Bei den beiden anderen Diensten konzentriert sich die Punkteverteilung besser um die Sollposition, d.h. es ist keine Verschiebung in eine Richtung erkennbar.

Weiterhin fällt auf, dass die Dienste SAPOS HEPS und SAPOS EPS bezüglich der absoluten Positionierung voneinander abweichen. Eine Erklärung hierfür liefern die unterschiedlichen Lösungsansätze beider Dienste. Da EPS auf die Korrekturdaten einer einzelnen Station, HEPS jedoch auf eine Vernetzung mehrerer Stationen zurückgreift, kommen somit auch unterschiedliche Qualitätsniveaus zustande (Unterschiedliche Längen der Basislinien). Auch die im HEPS enthaltenen Phasendaten, die zur Code-Glättung genutzt werden können, liefern eine Erklärung für das bessere Abschneiden von HEPS. Der Dienst Trimble VRSnow nutzt ebenfalls das Prinzip der Vernetzung. Dadurch lassen sich, die im Vergleich zu dem SAPOS HEPS, nahezu identischen Ergebnisse begründen.

Es ist ersichtlich, dass der Korrekturdatendienst SAPOS EPS bei Verwendung mit dem Trimble GeoXT schlechtere Ergebnisse liefert, als im Einsatz mit dem geodätischen Empfänger 5800. Zu erklären ist dies durch die präzisere Antenne des Trimble 5800.

Überraschend, für uns, ist das Ergebnis der unkorrigierten Messungen, bei der nur 4 von insgesamt 125 Positionen (3%) eine größere lineare Abweichung von $\pm 2,5$ m zur Sollposition haben.

EGNOS bietet eine hohe relative Genauigkeit der Punkte untereinander, jedoch sind die Punkte im Vergleich zur Sollposition meist systematisch verschoben.

Bei allen Messungen fällt auf, dass, falls eine systematische Verschiebung der Positionen vorhanden ist, die Mehrzahl der Positionen oberhalb der Achse von Osten nach Westen liegt.

Abschließend ist festzuhalten, dass mit allen Diensten und auch der unkorrigierten Messung in „freier Lage“ eine hohe Positionierungsgenauigkeit zu erzielen ist. Die Standardabweichung bezogen auf die Sollposition (absolut) liegt zwischen $\pm 0,44$ (VRSnow) und $\pm 2,21$ m (unkorrigiert Trimble). Die relative Genauigkeit der Positionen untereinander ist wie erwartet höher, was die Standardabweichung relativ von $\pm 0,36$ (BEACON Trimble) bis $\pm 1,03$ m (BEACON Topcon) verdeutlicht.

Tabelle Gegenüberstellung „freie Lage“

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Standardabweichung einer Messung (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m	Mittelwert Pdrop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert Trimble (1)	25	2.21	0.60	0	1	8	1.8	8
Beacon Topcon (2)	25	1.17	1.03	0	21	23	1.4	12
Unkorrigiert Topcon (1)	25	1.40	0.63	2	17	24	-/-	-/-
Unkorrigiert Topcon (2)	25	1.60	0.92	4	10	22	-/-	-/-
Beacon Topcon (1)	25	1.50	0.65	6	16	20	1.5	13
EGNOS (2)	25	1.25	0.49	8	20	25	1.7	10
SPOS EPS (1)	25	1.29	0.74	8	18	23	1.5	11
SAPOS EPS (2)	25	1.62	0.94	9	14	20	1.7	9
EGNOS (1)	25	1.24	0.68	12	19	24	1.8	9
Unkorrigiert Trimble (2)	25	0.82	0.64	19	24	25	1.7	9
SAPOS EPS 5800 (1)	25	0.76	0.58	20	25	25	1.7	8
SAPOS EPS 5800 (2)	25	0.97	0.62	18	23	24	1.9	8
Beacon Trimble (2)	25	0.85	0.57	21	24	24	1.7	10
SAPOS HEPS (2)	25	0.65	0.63	22	24	25	1.6	10
Trimble VRSnow (1)	25	0.56	0.42	23	25	25	2.1	9
Beacon Trimble (1)	25	0.71	0.36	23	25	25	1.6	10
Unkorrigiert Trimble (3)	25	0.53	0.90	24	25	25	1.5	10
SAPOS HEPS (1)	25	0.49	0.48	24	25	25	1.6	10
Trimbel VRSnow (2)	25	0.44	0.44	25	25	25	1.9	8

Tabelle 12: Gegenüberstellung „freie Lage“

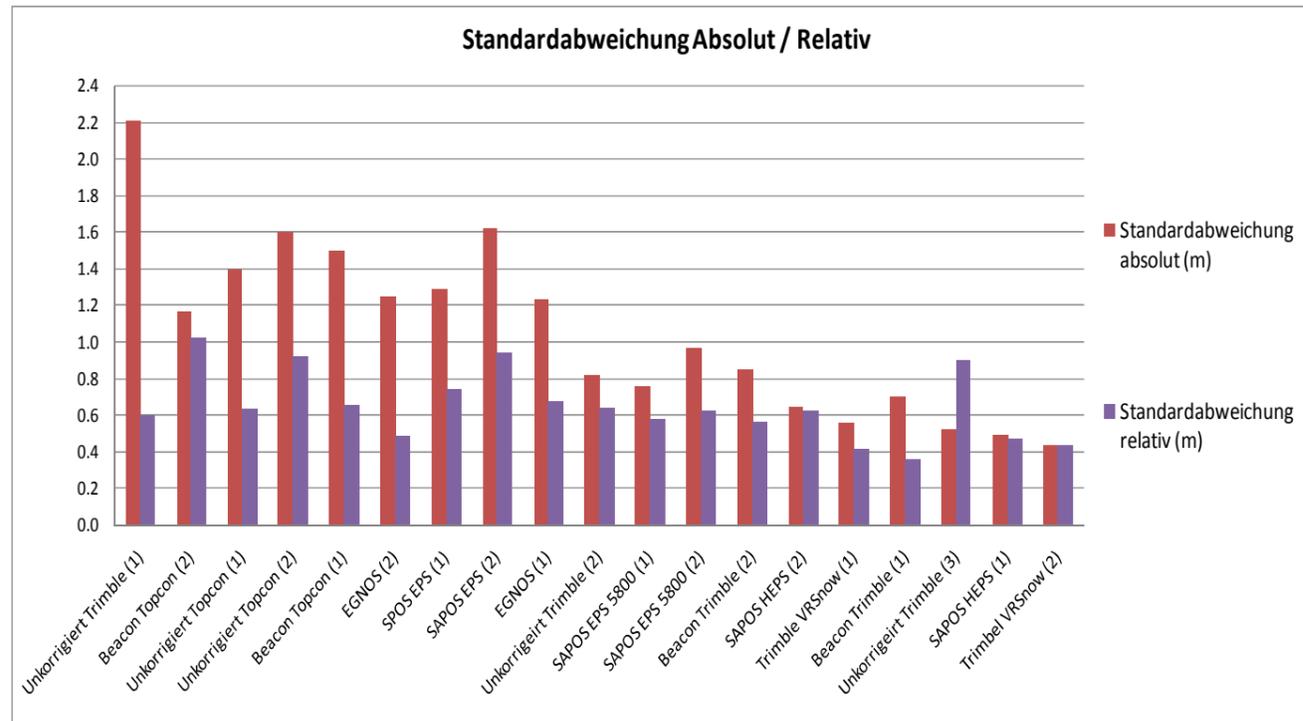


Abb. 32: Darstellung der absoluten und relativen linearen Abweichung auf dem Punkt „freie Lage“

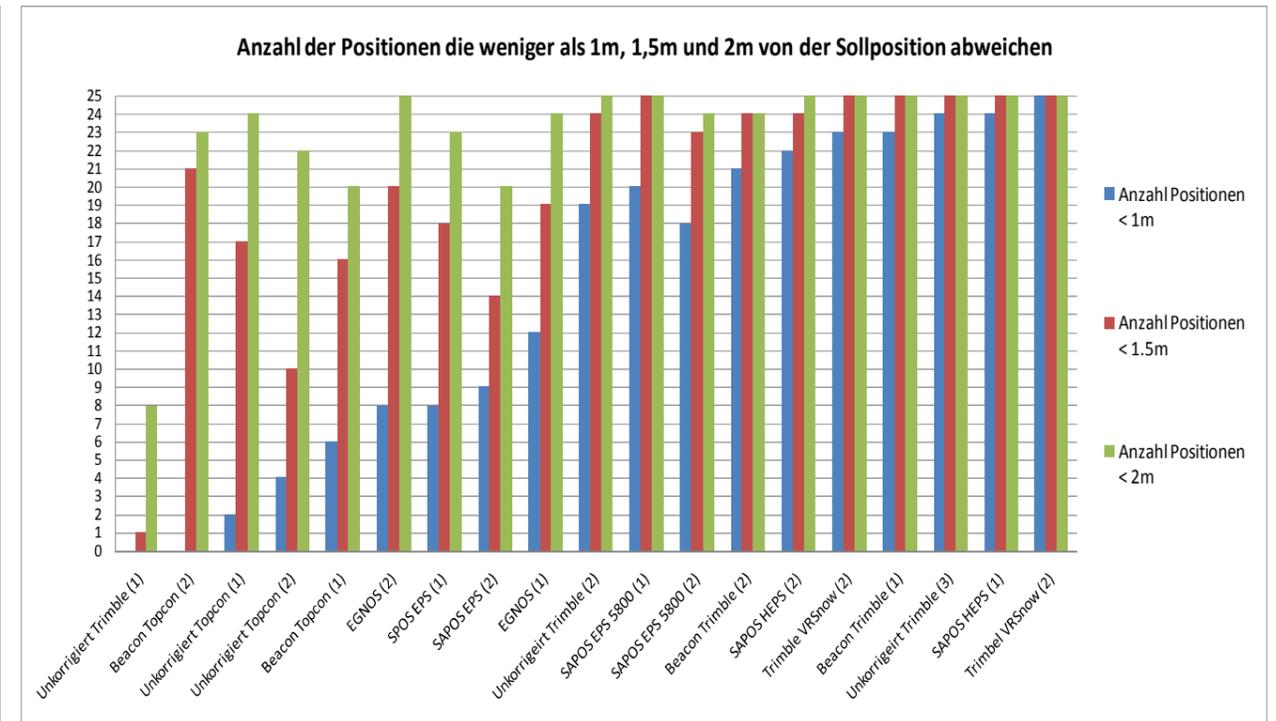


Abb. 33: Darstellung der Abstandsintervalle auf dem Punkt „freie Lage“

3.3. Bewertung der Messungsergebnisse unter wechselnden Horizontabschattungen („Wald“, „Waldrand“)

An dieser Stelle erfolgt die Ergebnisbeschreibung, die unter den verschiedenen Horizontabschattungen erreicht wurde. Eventuelle Zusammenhänge zwischen Abschirmung und Genauigkeit sowie Zuverlässigkeit (erfolgten 25 von 25 möglichen Positionsaufzeichnungen?) sollen hervorgehoben werden. Weiterhin wird, sofern vorhanden, die Anzahl der Ausreißer dokumentiert. Einen Ausreißer definieren wir in unserem Fall folgendermaßen. Falls die lineare Abweichung einer Position zum Sollpunkt einen Abstand (Genauigkeitsschranke) von 5 Meter überschreitet, so wird diese Position als Ausreißer interpretiert. Die Genauigkeitsschranke wurde bewusst niedriger angesetzt, um die Dienste hinsichtlich ihrer Qualitäten besser zu unterscheiden.

Wiederum erfolgt eine grafische Gegenüberstellung der Messepochen. Dabei handelt es sich bei den roten Kreuzen um die aufgezeichneten Positionen. Der blaue Kreis stellt das Mittel der aufgezeichneten Positionen dar.

Nach jedem Messpunkt erfolgt eine Gegenüberstellung der Korrekturdatendienste hinsichtlich ihrer Qualitäten (Genauigkeit, Zuverlässigkeit).

Wegen des großen zeitlichen Aufwandes beschränkten wir uns jeweils auf eine Messepoche „mit Belaubung“ sowie „ohne Belaubung“, wobei wiederum während 2 Stunden, jede fünfte Minute eine Position aufgezeichnet wurde.

Es wird darauf hingewiesen, dass bei Belaubung die Korrekturdatendienste SAPOS EPS sowie BEACON für uns nicht verfügbar waren und somit keine Messungen während Belaubung stattfanden.

Die einzelnen Punkte sind so bezeichnet, dass der Name des Punktes die jeweilige Abschattung auf diesem interpretiert (vgl. hierzu Abb. 34). Betrachtet man beispielsweise den Punkt Südost (rot), so ist an dessen Namen abzulesen, dass sich die Horizontabschirmung (grün) im Südosten befindet. D.h. links der Linie von Nordost nach Südwest ist der Horizont durch den Wald zu circa 100 Prozent abgeschattet.

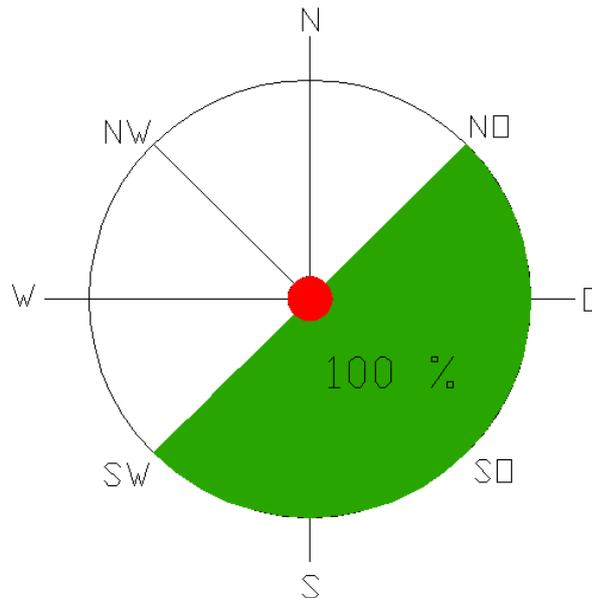


Abb. 34: Beispiel für Abschirmung im Südosten (Draufsicht)

Auf den zwei Punkten im Wald war die Abschattung mehr oder weniger stark über den gesamten Horizont verteilt.

Je Messpunkt erfolgt zuerst eine Dokumentation der Horizontsituation, danach eine nach Korrekturdatendienst gegliederte Beschreibung der Messergebnisse und abschließend ein Vergleich der Korrekturdatendienste.

3.3.1. Abschattung im Osten

Dokumentation der Horizontsituation auf dem Messpunkt Ost:

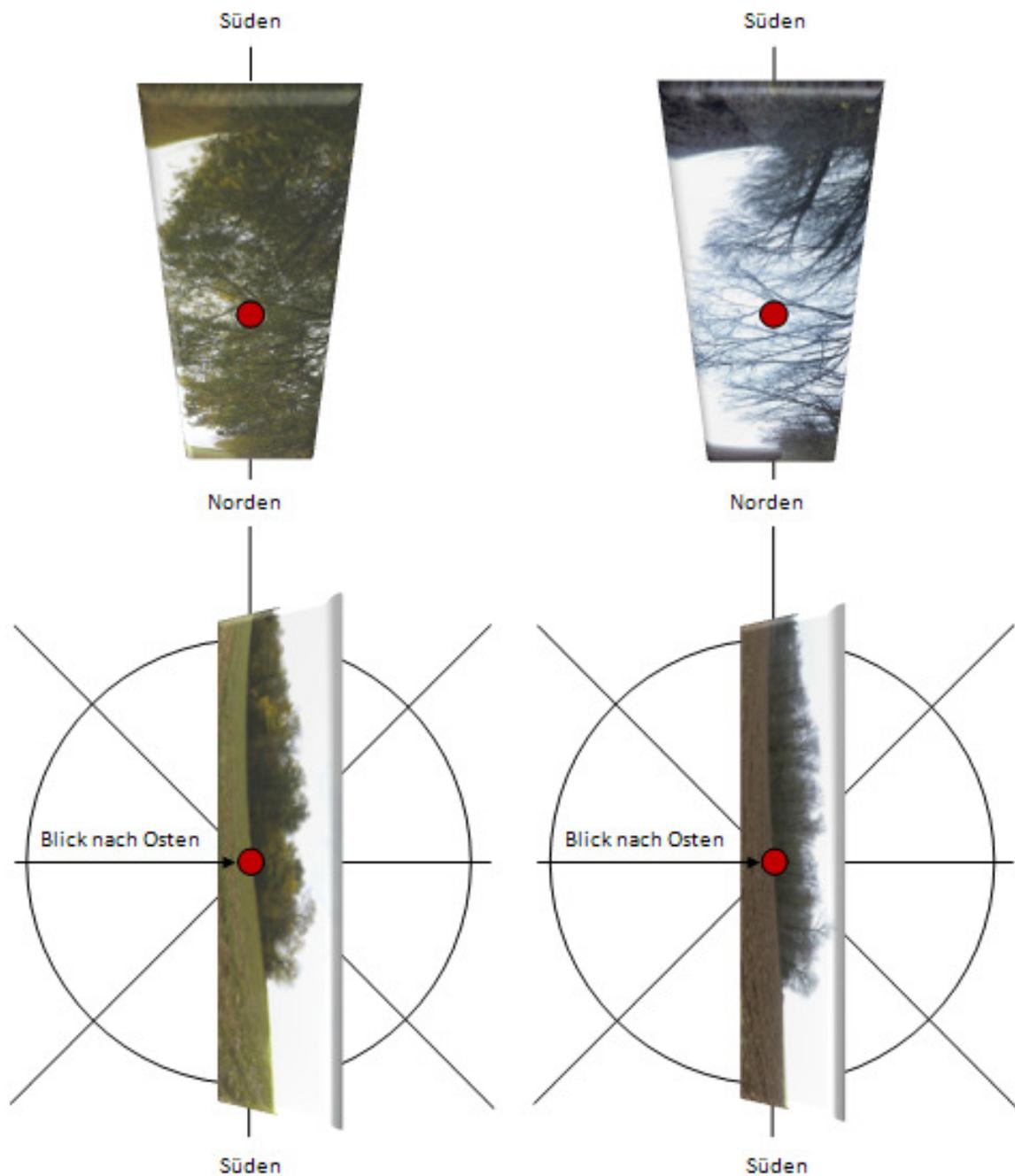


Abb. 35: Ost mit (links)/ohne (rechts) Belaubung

mit Belaubung

➤ unkorrigiert

Es ist eine systematische Verschiebung der Positionen, die für eine GNSS – Messung ohne Korrekturdienst gering ausfällt, Richtung Norden vorhanden. Die Punkte liegen relativ gesehen dicht zusammen.

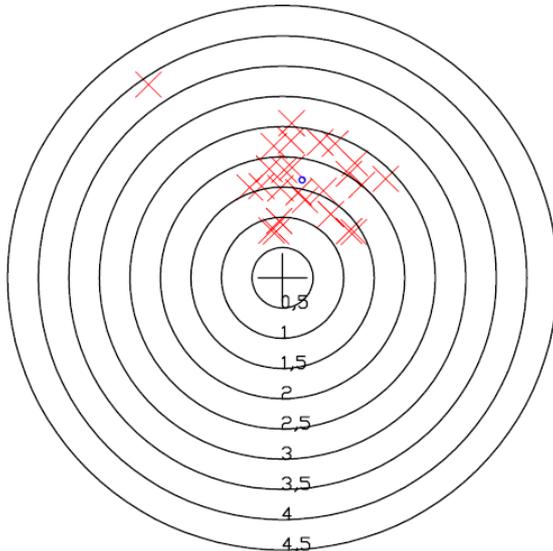


Abb. 36: Ost unkorrigiert mit Belaubung, M 1:125

➤ EGNOS

Es ist eine leichte systematische Verschiebung der Punktwolke von circa ein Meter von der Sollposition in Richtung Norden erkennbar. Dies bedeutet, dass sich hauptsächlich Fehler im Hochwert ergeben.

Es gibt eine Position, die mit einem Abstand von 4 Metern von der Sollposition etwas weiter entfernt liegt als die restlichen Positionen.

ohne Belaubung

➤ unkorrigiert

Auf der Ergebnisgrafik ist ein Versatz der Punkte vom Sollpunkt in Richtung Nordosten erkennbar. Der Mittelwert des P_{dop} lag über die gesamte Aufzeichnungsdauer bei 1,8 und somit über dem Durchschnitt. Daraus resultiert eine gute relative Punktlage mit maximal 1,8 Metern Abweichung vom Mittelwert. Die größte Abweichung zum Absolutpunkt beträgt weniger als drei Meter.

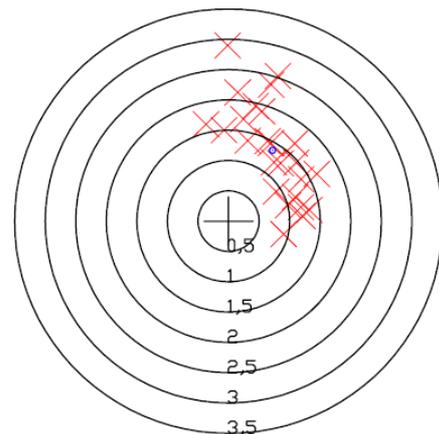


Abb. 39: Ost unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:125

➤ EGNOS

Es ist festzustellen, dass die kreisförmig ausgebildete Punktwolke circa 1,5 Meter systematisch nach Norden versetzt ist. Zwei Punkte (Ausreißer) weisen eine lineare Abweichung von 7 Metern zur Sollposition auf. Bis auf einige Ausnahmen liegen die Punkte, relativ gesehen, eng beieinander.

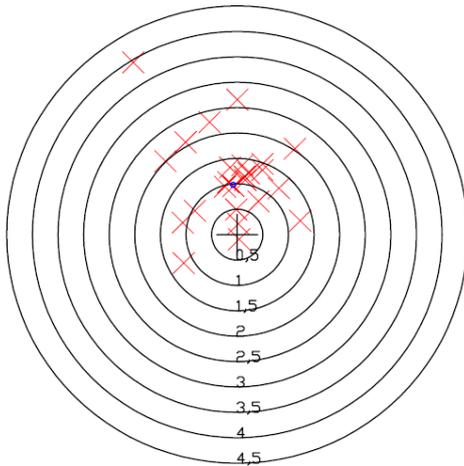


Abb. 37: Ost EGNOS mit Belaubung, M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Es ist ein minimaler Versatz der Punkte in Richtung Nordwesten vorhanden. Jedoch konzentriert sich eine große Anzahl von Positionen direkt im Bereich des Sollpunktes. Die Standardabweichung relativ wie auch absolut, liegt im Mittel bei circa 1,10 Metern.

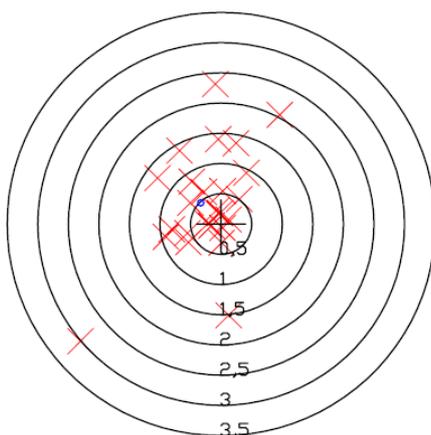


Abb. 38: Ost VRSnow mit Belaubung, M 1:125

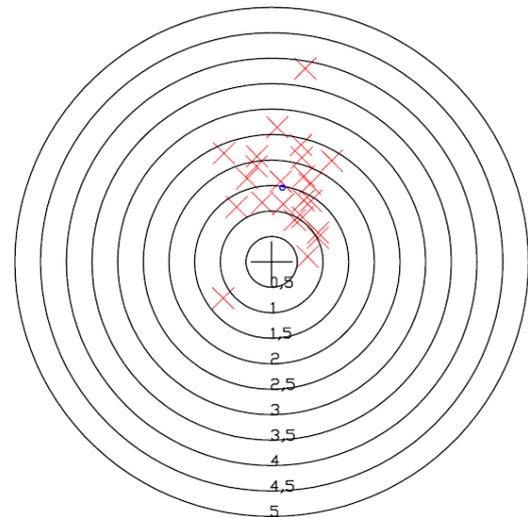


Abb. 40: Ost EGNOS ohne Belaubung, M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Zu erkennen ist eine leichte systematische Verschiebung der Punkte in Richtung Nordwest und eine deutliche Punkthäufung innerhalb 0,5 Metern. Insgesamt ist eine sehr gute Konzentration der Positionen um die Sollposition gegenwärtig.

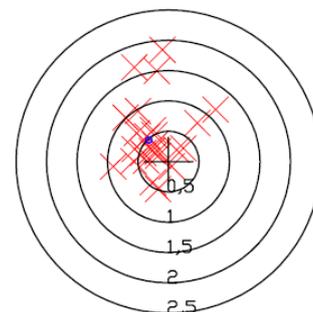


Abb. 41: Ost VRSnow ohne Belaubung, M 1:125

➤ SAPOS EPS

Eine große Anzahl der aufgezeichneten Punkte weicht nach Westen, entgegen der Abschattungsrichtung, von der Sollposition ab. Einzelne Punkte breiten sich auch Richtung Norden und Süden aus. Der Abstand der Punkte untereinander wächst mit zunehmender Entfernung der registrierten Positionen von der Sollposition. Es sind keine Ausreißer vorhanden.

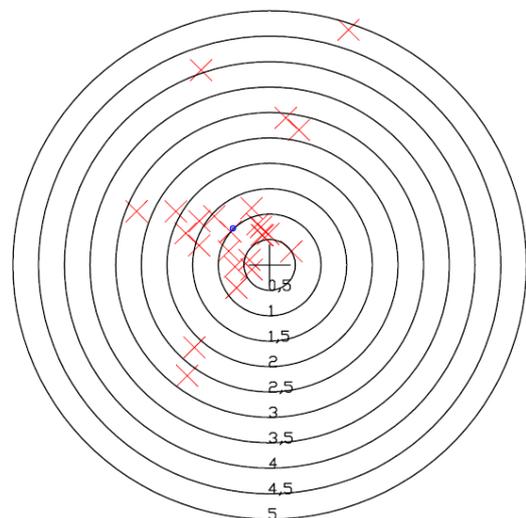


Abb. 42: Ost EPS ohne Belaubung, M 1:150

➤ BEACON

Es ist eine systematische Verschiebung der Positionen vom Sollpunkt in Richtung Norden zu sehen. Die Standardabweichung absolute sowie relative liegt mit einem Wert von circa zwei Metern über dem Durchschnitt. Weiterhin ist ein Ausreißer mit einer Abweichung von circa 9,5 Metern vorhanden.

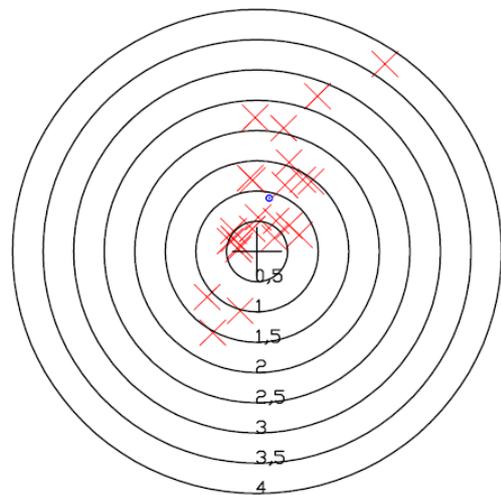


Abb. 43: Ost BEACON ohne Belaubung, M 1:125

➤ Ergebnisvergleich (mit Belaubung)

Bei allen drei Messergebnissen ist eine systematische Verschiebung der jeweils recht kreisförmig ausgebildeten Punktwolke nach Norden zu erkennen. Der Korrekturdienst VRSnow bietet, trotz des schlechtesten mittleren Pdop, die beste Absolutgenauigkeit (vgl. hierzu Standardabweichung absolut). Dies wird auch dadurch belegt, dass sich 21 der 25 registrierten Punkte innerhalb eines Abstandes von 1,5 Metern von der Sollposition befinden. Die relative Genauigkeit ist bei allen drei Messungen vergleichbar gut (circa 1 Meter).

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
Unkorrigiert	25	3	9	15
EGNOS	25	7	19	19
VRSnow	25	17	21	22
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert	1.92	1.00	2.1	9
EGNOS	1.58	1.16	2.2	8
VRSnow	1.16	1.11	2.7	8

Tabelle 13: Vergleich Ost mit Belaubung

➤ Ergebnisvergleich (ohne Belaubung)

Da bei allen Messungen der Mittelwert des Pdop nahezu identisch ist, kann von einer ähnlichen Satellitenkonstellation, und somit guter Vergleichbarkeit der Messungen untereinander, ausgegangen werden.

Es ist bei allen Tests eine mehr oder weniger große systematische Verschiebung der Punktwolke Richtung Norden erkennbar. Das bedeutet, dass die Verschiebungsrichtung weder entgegen, noch in Abschattungsrichtung liegt. Bei diesem Messpunkt wurden die besten Ergebnisse mit dem Korrekturdienst VRSnow erreicht (vgl. hierzu Tabelle 14).

Vergleicht man die beiden Dienste EPS und VRSnow fällt auf, dass EPS stärker streut. Außerdem ist erkennbar, dass EGNOS, trotz differentieller Korrektur, schlechter abschneidet als die unkorrigierte Messung.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
unkorrigiert	25	2	14	21
EGNOS	25	2	11	16
EPS	25	11	15	17
VRS now	25	20	22	25
BEACON	25	11	18	20
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
unkorrigiert	1.64	0.93	1.8	9
EGNOS	2.61	1.88	2.6	9
EPS	1.97	1.72	2.6	8
VRS now	0.81	0.68	2.5	8
BEACON	2.36	2.15	2.5	9

Tabelle 14: Vergleich Ost ohne Belaubung

3.3.2. Abschattung im Südosten

Dokumentation der Horizontsituation auf dem Messpunkt Südost:

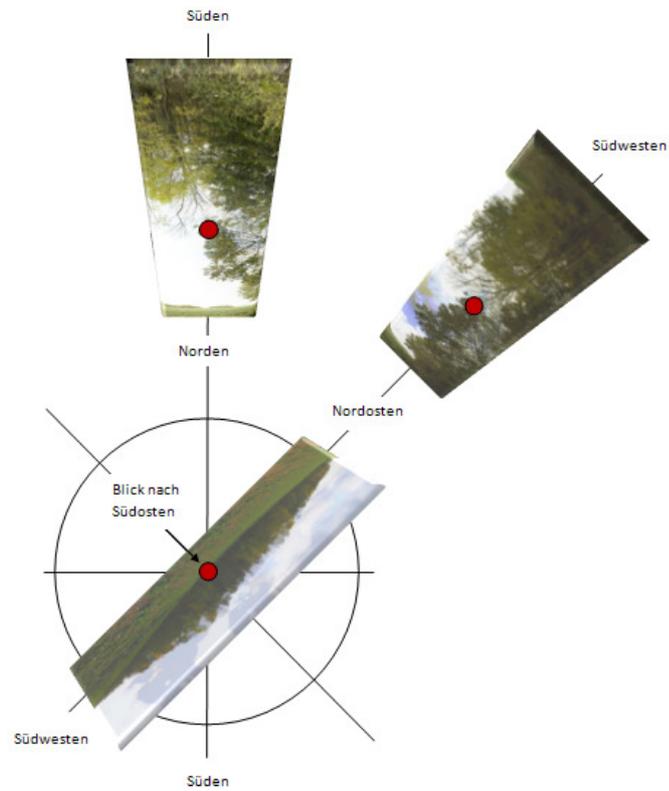


Abb. 44: Südost mit Belaubung

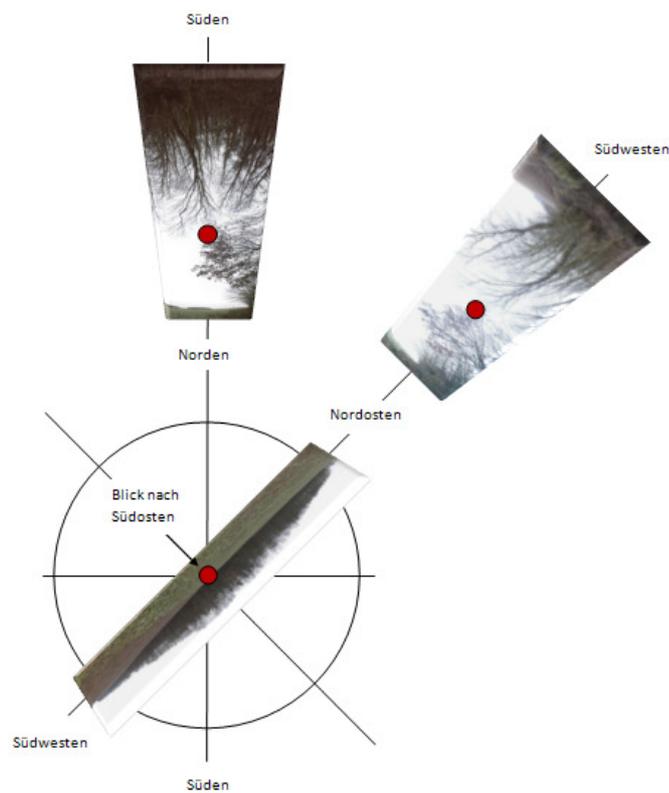


Abb. 45: Südost ohne Belaubung

mit Belaubung

➤ unkorrigiert

Vom Absolutpunkt aus zeichnet sich eine Verlagerung der Positionen in Richtung Norden ab. Trotz schlechten P_{dop} befinden sich 23 Positionen innerhalb von 3 m. In der Summe ist ein Ausreißer mit einer Abweichung von 16 m vorhanden.

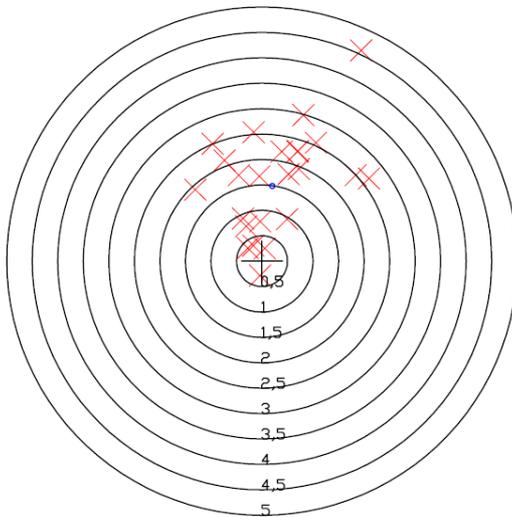


Abb. 46: Südost unkorrigiert mit Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

Hier war leider keine Positionsaufzeichnung mit EGNOS möglich. Da sich die geostationären Satelliten im Süden mit geringer Elevation über dem Horizont befinden und deshalb leicht durch Hügel oder Wald abgeschattet werden können, ist dies ein möglicher Grund für das Versagen von EGNOS.

ohne Belaubung

➤ unkorrigiert

Es zeigt sich eine linienhafte Ausbreitung der Punkte vom Sollpunkt in Richtung Norden. Ferner ist eine Punkthäufung zwischen 0,5 und 1,5 Meter Entfernung vom Absolutpunkt ersichtlich. Die größte absolute Abweichung liegt unter drei Metern.

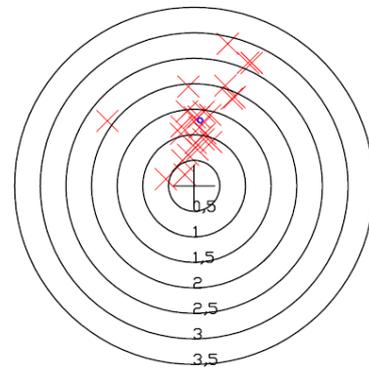


Abb. 48: Südost unkorrigiert ohne Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

siehe linke Seite

➤ Trimble VRSnow

Es ergibt sich ein leichter Versatz der Positionen in Richtung Westen. Bis auf zwei Punkte, die mit jeweils 2,5 Metern am weitesten entfernt liegen, ist eine sehr gute relative sowie absolute Punktgenauigkeit gegeben.

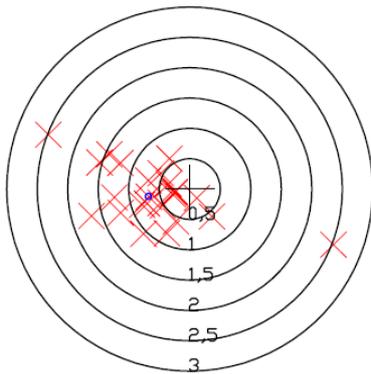


Abb. 47: Südost VRSnow mit Belaubung, M 1:125

➤ Trimble VRSnow

Diesmal ist ebenfalls eine systematische großflächige Positionsverschiebung Richtung Westen gegenwärtig. Die relativen Punktabstände nehmen mit Abstand zum Sollpunkt zu und sind im Vergleich zur Messung mit Belaubung etwas größer.

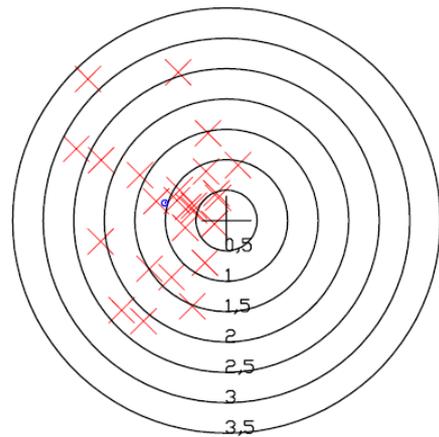


Abb. 49: Südost VRSnow ohne Belaubung, M 1:125

➤ SAPOS EPS

Es fällt ein leichter systematischer Versatz der Positionen, entgegen der Abschattungsrichtung, nach Nordwesten auf. Die Punktverteilung ist flächenhaft und verläuft linienförmig von Nordost nach Südwest. Die Positionen haben untereinander geringe Abstände. Dies verdeutlicht auch die Standardabweichung (relativ). Der größte Abstand eines Punktes vom Sollpunkt beträgt nur 3,20 Meter. Auch dies verdeutlicht eine gute Genauigkeit des Dienstes auf diesem Messpunkt.

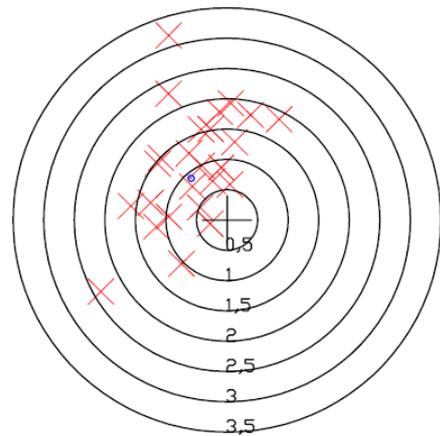


Abb. 50: Südost EPS ohne Belaubung, M 1:125

➤ **BEACON**

Die Punkte streuen flächenhaft von Südwest bis Nord und weisen mit zunehmender Entfernung größer werdende Punktabstände auf. Insgesamt ist ein Ausreißer, diesmal mit sechs Meter Differenz zum Sollpunkt erkennbar.

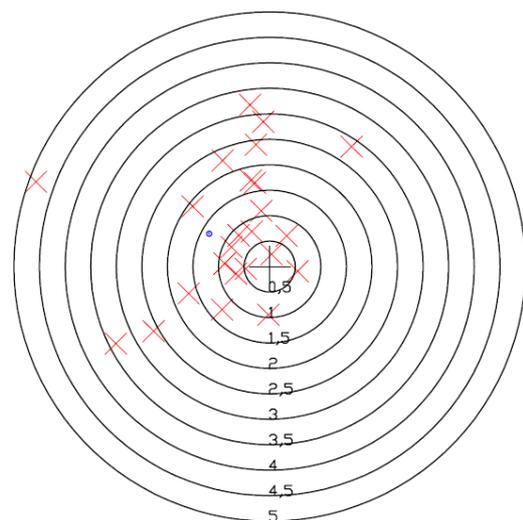


Abb. 51: Südost BEACON ohne Belaubung M 1:150

➤ Ergebnisvergleich (mit Belaubung)

Wie bereits erwähnt war hier mit EGNOS keine Positionierung möglich. Die Punktwolken der übrigen Dienste sind in jeweils verschiedene Richtungen systematisch versetzt (VRSnow nach Westen und unkorrigiert nach Norden), sodass keine Abhängigkeit von der Abschattungsrichtung zu erkennen ist. Obwohl die unkorrigierte Messung einen schlechten Mittelwert des Pdrop aufweist, konnten 23 der 25 Positionen innerhalb einer Genauigkeit von 3 Metern vom Sollwert gezählt werden. Erwartungsgemäß wurden die Ergebnisse durch die Verwendung des Korrekturdatendienstes VRSnow, mit 21 der 25 gemessenen Positionen innerhalb 1,5 Metern von der Sollposition, gesteigert.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen <1.5m	Anzahl Positionen < 2m
Unkorrigiert	25	8	8	13
EGNOS				
VRSnow	25	16	21	23
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdrop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert	3.79	3.78	4.9	7
EGNOS				
VRSnow	1.10	0.96	2.7	8

Tabelle 15: Vergleich Südost mit Belaubung

➤ Ergebnisvergleich (ohne Belaubung)

Auch hier war wie zuvor beschrieben, keine Messung unter Einsatz von EGNOS möglich. Auffällig ist, dass die Punktwolken flächenhaft Richtung Norden bzw. Nordwesten, entgegen der Abschattungsrichtung, verschoben sind. Die Messungen sind aufgrund des ähnlichen Mittelwerts des Pdrop gut miteinander vergleichbar. Erstaunlich gut schneidet hier die Messung ohne Einsatz eines Korrekturdienstes ab, was eventuell an der geringfügig besseren Satellitenkonstellation während der Messung liegt. Sie liefert vergleichbare Ergebnisse wie die Messungen mit Verwendung von Korrekturdaten. Die Beacon-Messung enttäuschte hier aufgrund der schlechtesten Ergebnisse.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
unkorrigiert	25	8	17	20
EGNOS				
EPS	25	8	15	22
VRS now	25	12	16	18
BEACON	22	10	12	16
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdrop	Mittelwert Satellitenanzahl
unkorrigiert	1.56	0.88	2.5	9
EGNOS				
EPS	1.52	1.16	2.8	8
VRS now	1.57	1.28	3.1	9
BEACON	2.33	2.20	2.9	8

Tabelle 16: Vergleich Südost ohne Belaubung

3.3.3. Abschattung im Süden

Dokumentation der Horizontsituation auf dem Messpunkt Süd:

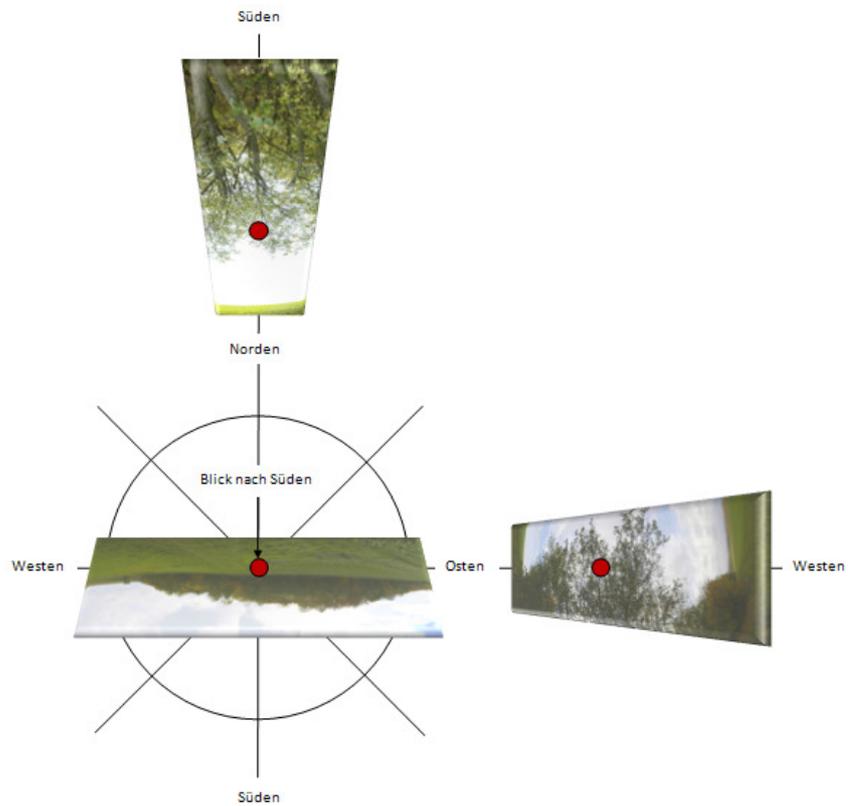


Abb. 52: Süd mit Belaubung

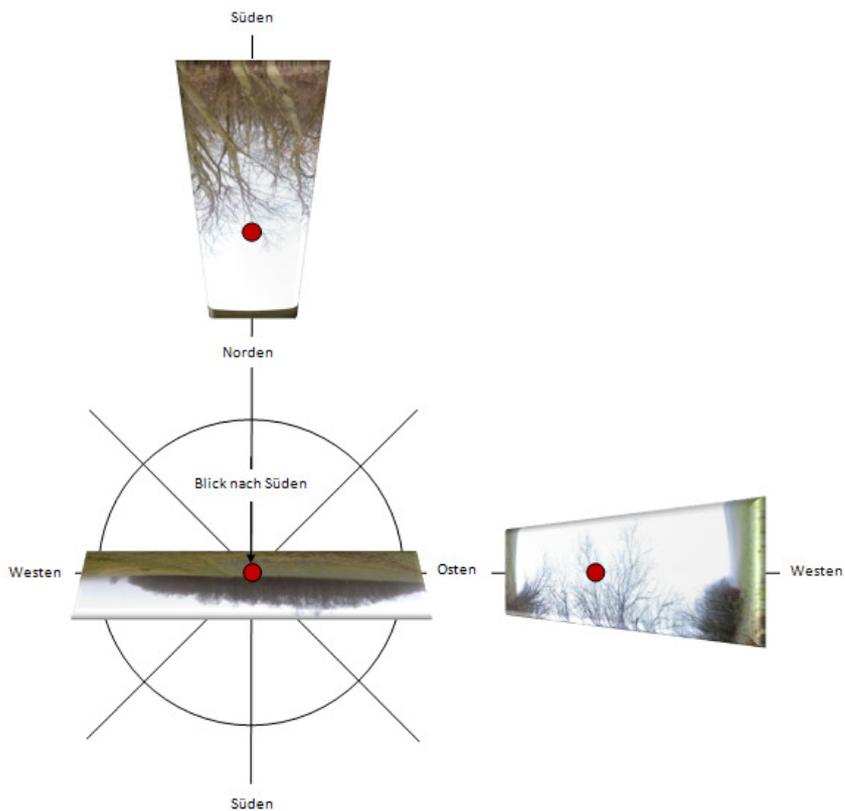


Abb. 53: Süd ohne Belaubung

mit Belaubung

➤ unkorrigiert

Die Verteilung der Positionen erstreckt sich von Nordost nach Süd. Weiterhin sind die Positionen leicht systematisch nach Nordosten versetzt. Der Verlauf der Punkte ist stark aneinandergereiht (linienhaft).

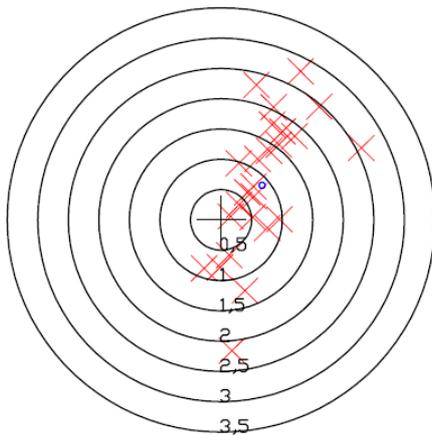


Abb. 54: Süd unkorrigiert mit Belaubung, M 1:125

ohne Belaubung

➤ unkorrigiert

Die Punkte weisen eine leichte systematische Verschiebung in Richtung Nordosten auf. Es sind nur geringe Absolutabweichungen mit maximal 2,10 m zum Sollpunkt festzustellen.

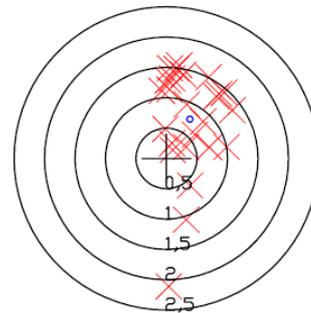


Abb. 57: Süd unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:125

➤ EGNOS

Trotz der bereits bei Südost genannten Abschattungsproblematik der EGNOS-Satelliten, waren bei südlicher Abschattung Positionsaufzeichnungen möglich.

Es zeigt sich eine langgestreckte linienhafte Ausdehnung der Positionen über circa 3 Meter in Richtung Norden. Desweiteren ist ein leicht östlicher Versatz von circa 0,5 Metern vom Referenzpunkt sichtbar.

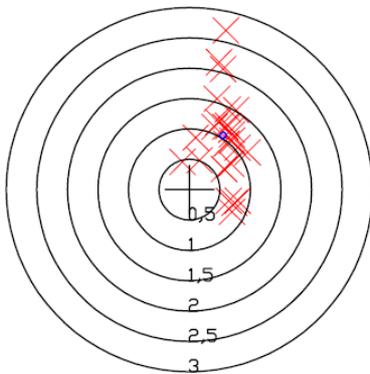


Abb. 55: Süd EGNOS mit Belaubung, M 1:125

➤ Trimble VRSnow

Das Ergebnis zeigt einen linienhaften Verlauf der Punkte von Nord nach Süd ohne erkennbaren Versatz. Auch die Punkthäufung befindet sich direkt im Sollpunkt.

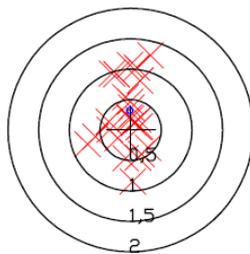


Abb. 56: Süd VRSnow mit Belaubung, M 1:125

➤ EGNOS

Bei dieser Messung zeigt sich ein systematischer Versatz von 1,5 Metern nach Norden. Außerdem haben die Messpunkte sehr geringe Punktabstände zueinander. Alle Punkte liegen innerhalb eines Abstandes von 2,5 Metern.

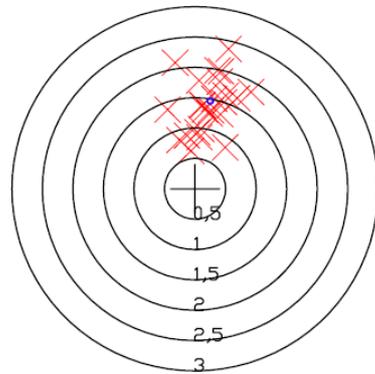


Abb. 58: Süd EGNOS ohne Belaubung, M 1:125

➤ Trimble VRSnow

Wiederum lässt sich keine Verschiebung der Positionen erkennen. Die Punktkonzentration befindet sich hauptsächlich innerhalb des Radius von einem Meter um den Sollpunkt.

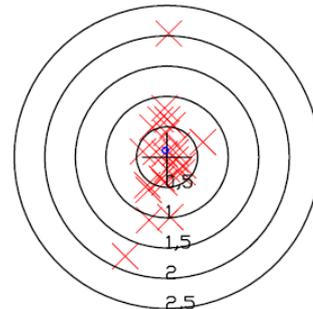


Abb. 59: Süd VRSnow ohne Belaubung, M 1:125

➤ SAPOS EPS

Die Lage der Punkte ist im Vergleich zum Referenzpunkt systematisch nach Nordwesten verschoben. Die Verteilung der Punkte dehnt sich flächenhaft im Kreisviertel zwischen Westen und Norden aus. Trotzdem weisen die Punkte untereinander geringe Punktabstände auf.

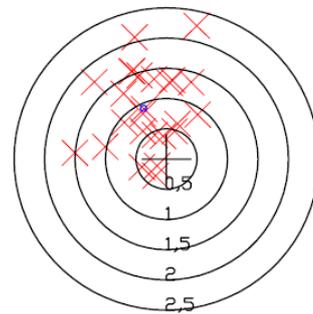


Abb. 60: Süd EPS ohne Belaubung, M 1:125

➤ BEACON

Hier ist eine leichte systematische Verschiebung der Positionen in Richtung Norden gegenwärtig. Dennoch liegen alle Punkte innerhalb eines drei Meter Radius um die Sollposition.

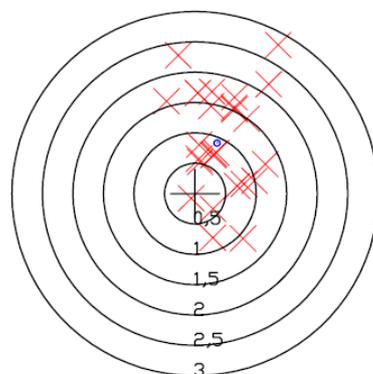


Abb. 61: Süd BEACON ohne Belaubung M 1:125

➤ Ergebnisvergleich (mit Belaubung)

Bei allen drei Messungen ist eine linienhafte Ausdehnung der Punkte von Norden nach Süden erkennbar, wobei die Punktwolke der VRSnow-Messung stärker um den Sollwert zentriert ist.

Auf Grund der nahezu identischen Mittelwerte des Pdop sind alle drei Messungen direkt miteinander vergleichbar. Das beste Ergebnis liefert, wie auch schon bei den vorhergehenden Messpunkten, die Messung unter Einsatz des Dienstes VRSnow. Hier liegen 25 der 25 möglichen Punkte innerhalb eines linearen Abstandes von 1,5 Metern von der Sollposition.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
Unkorrigiert	25	12	15	19
EGNOS	25	10	20	22
VRSnow	25	22	25	25
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert	1.52	1.25	2.2	8
EGNOS	1.27	0.76	2.2	9
VRSnow	0.63	0.61	2.2	11

Tabelle 17: Vergleich Süd mit Belaubung

➤ Ergebnisvergleich (ohne Belaubung)

Diesmal ist ein überwiegend systematischer Versatz der Punktwolken nach Norden, entgegen der Abschattungsrichtung, erkennbar. Nur die aufgezeichneten Punkte bei Verwendung des Dienstes VRSnow zentrieren sich gut um die Sollposition. Das bedeutet, dass mit diesem Dienst die beste Absolutgenauigkeit (vgl. hierzu auch Standardabweichung absolut) erreicht wurde. Gegenüber den anderen Diensten, weist EGNOS hier eine sehr gute relative Genauigkeit (vgl. hierzu Standardabweichung relativ), aber eine große systematische Verschiebung, auf. Da alle Mittelwerte des Pdop zwischen 2,0 und 2,5 liegen, sind auch hier die Ergebnisse aller Messungen gut miteinander vergleichbar.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
unkorrigiert	25	9	22	24
EGNOS	25	7	15	23
EPS	25	12	19	23
VRS now	25	22	23	24
BEACON	25	12	16	22
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
unkorrigiert	1.17	0.93	2.0	9
EGNOS	1.49	0.55	2.3	9
EPS	1.20	0.82	2.5	8
VRS now	0.74	0.76	2.3	8
BEACON	1.36	0.98	2.5	8

Tabelle 18: Vergleich Süd ohne Belaubung

3.3.4. Abschattung im Südwesten

Dokumentation der Horizontsituation auf dem Messpunkt Südwest:

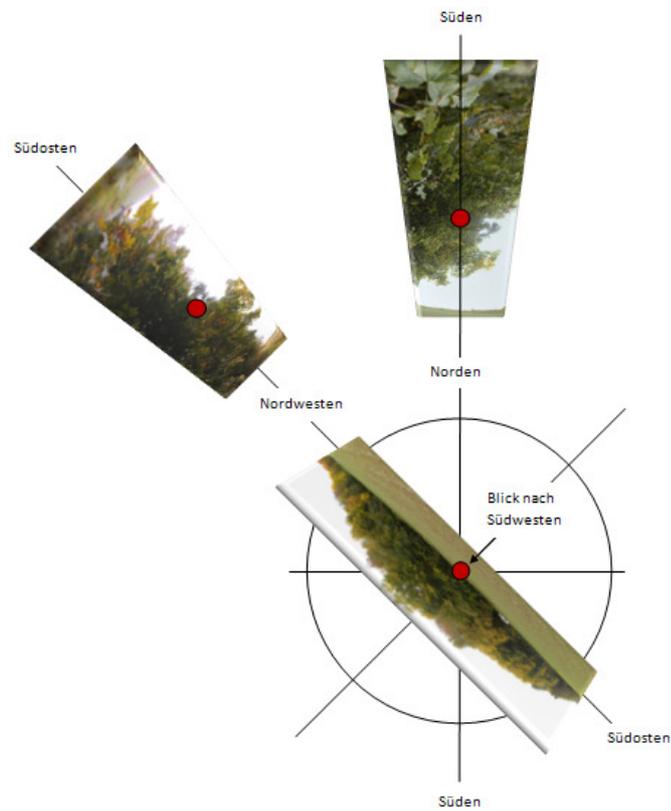


Abb. 62: Südwest mit Belaubung

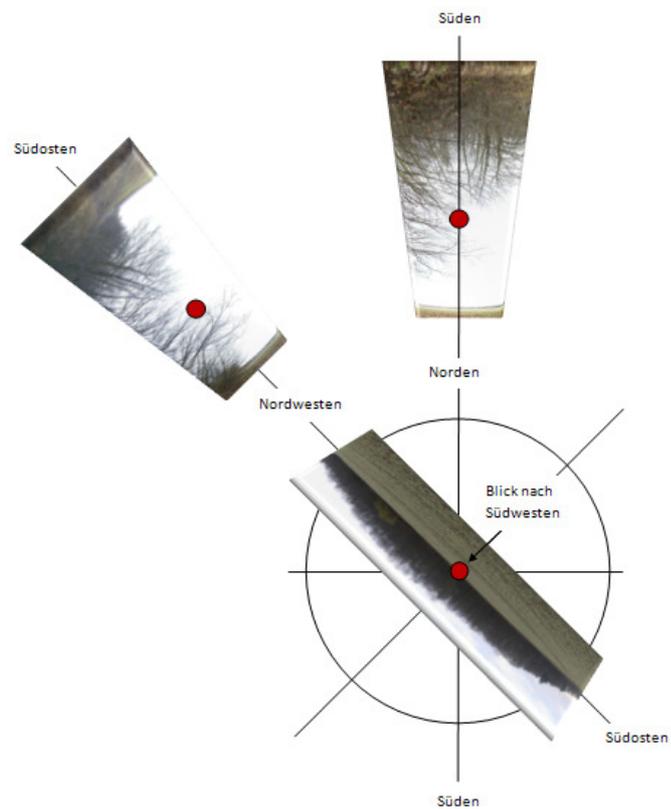


Abb. 63: Südwest ohne Belaubung

mit Belaubung

➤ unkorrigiert

Die Positionen sind allesamt in Richtung Osten versetzt, wobei mit zunehmendem Abstand zum Absolutpunkt eine Ausdehnung der Punkte von Nord nach Süd zu verzeichnen ist. Vier Punkte sind als Ausreißer definiert, von denen einer mit 31 Meter zum Sollpunkt die größte Abweichung repräsentiert.

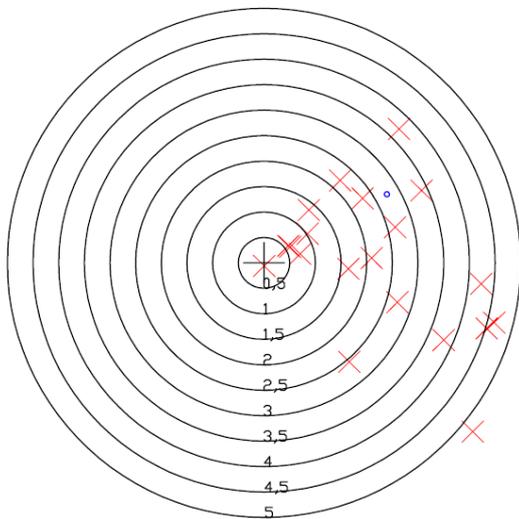


Abb. 64: Südwest unkorrigiert mit Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

Auch hier war keine Positionsaufzeichnung möglich. Gründe hierfür sind unter dem Messpunkt Südost aufgeführt.

➤ Trimble VRSnow

Diesmal existiert eine große Punkthäufung im Bereich des Absolutpunktes. Dennoch sind einzelne Punkte in Richtung Osten versetzt, die aber die Grenze von drei Metern nicht überschreiten.

ohne Belaubung

➤ unkorrigiert

Es ist eine flächenhafte Verlagerung der Punkte in Richtung Nordosten vorhanden. Die größten Abweichungen liegen zwischen 3 und 3,5 Metern.

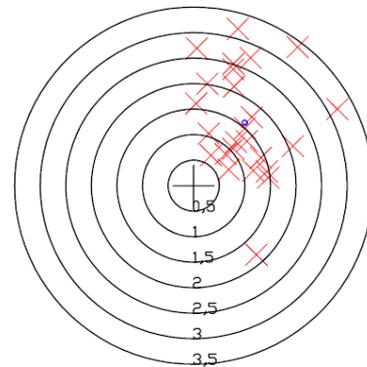


Abb. 66: Südwest unkorrigiert ohne Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

siehe links

➤ Trimble VRSnow

Die Grafik zeigt einen Versatz der Positionen nach Osten. Der Punktabstand der Punkte untereinander vergrößert sich mit zunehmendem Abstand vom Absolutpunkt.

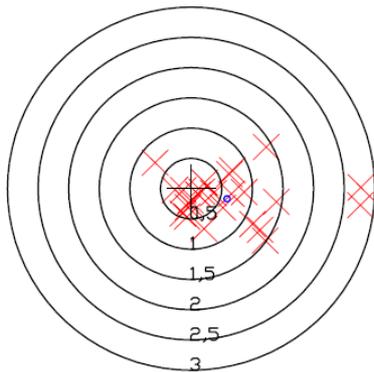


Abb. 65: Südwest VRSnow mit Belaubung,
M 1:125

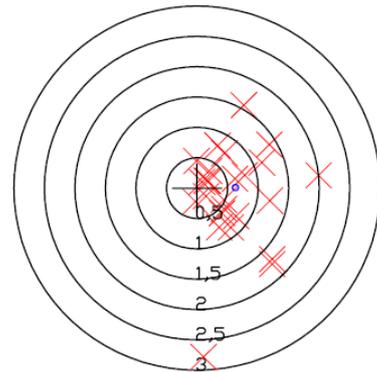


Abb. 67: Südwest VRSnow ohne Belaubung,
M 1:125

➤ SAPOS EPS

Außer zwei Punkten befinden sich alle Positionen innerhalb von 2 Metern Abstand zur Sollposition. Die Verteilung der Punkte stellt sich hierbei etwa kreisförmig um den Referenzpunkt dar. In diesem Fall wird, trotz eines, im Vergleich zu den anderen Messungen, schlechteren Mittelwertes des P_{dop}, eine sehr gute Genauigkeit erreicht. Der größte Abstand einer Position zum Referenzpunkt beträgt 3,20 Meter.

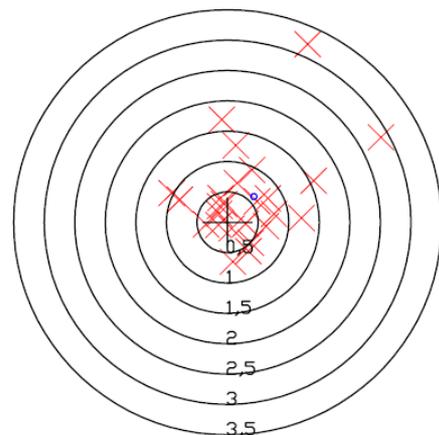


Abb. 68: Südwest EPS ohne Belaubung, M 1:125

➤ BEACON

Die Punkte erstrecken sich, bis auf Einen, der im Südwesten liegt, von der Sollposition linienhaft in Richtung Osten. Ebenfalls ist ein Ausreißer mit circa 11,5 Meter Abweichung vom Absolutpunkt vorhanden.

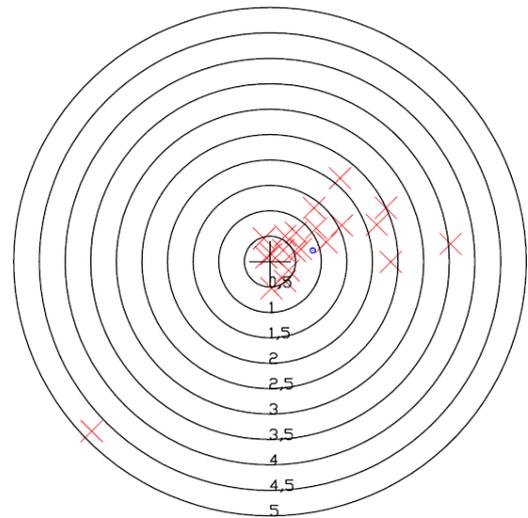


Abb. 69: Südwest BEACON ohne Belaubung,

M 1:150

➤ Ergebnisvergleich (mit Belaubung)

Auch auf diesem Messpunkt war, wie bei Punkt Südost, keine Verwendung von EGNOS möglich.

Bei der Messung ohne Nutzung eines Korrekturdatendienstes konnten insgesamt nur 23 Positionen aufgezzeichnet werden, was auf eine ungenügende Satellitenanzahl oder Signalabbrüche, durch die Abschattung hervorgerufen, zurückzuführen ist. Die Abschattung im Südwesten stellt bei VRSnow mit 23 Positionen, die einen geringeren Abstand als 1,5 Meter vom Sollpunkt haben, nur eine geringe Beeinträchtigung dar. Der unkorrigierten Messung bereitete diese Abschattung erheblich mehr Probleme. Sie weist einen deutlich größeren Versatz der Mehrzahl der Punkte in Richtung Nordosten/Osten auf, als die Messung mit dem Dienst VRSnow.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen <2m
Unkorrigiert	23	4	6	7
EGNOS				
VRSnow	25	18	23	23
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert	8.53	8.25	4.3	6
EGNOS				
VRSnow	1.08	0.91	2.2	8

Tabelle 19: Vergleich Südwest mit Belaubung

➤ Ergebnisvergleich (ohne Belaubung)

Wiederum konnte EGNOS nicht verwendet werden.

Die Messungen können hier aufgrund der ähnlichen Pdop-Mittelwerte gut miteinander verglichen werden. Der systematische Versatz liegt hauptsächlich im Nordosten bzw. Osten, entgegen der Abschattungsrichtung. Die große Standardabweichung absoluten sowie relativ bei Beacon sind auf einen Ausreißer mit einem Abstand von 11 Metern von der Sollposition zurückzuführen. Trotz des schlechtesten Pdop liefern die Dienste VRSnow und EPS die besten Ergebnisse.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
unkorrigiert	25	3	11	15
EGNOS				
EPS	25	18	21	23
VRS now	25	17	20	24
BEACON	22	11	14	15
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
unkorrigiert	1.98	1.21	2.1	9
EGNOS				
EPS	1.16	1.06	2.3	8
VRS now	1.10	0.96	2.8	7
BEACON	3.02	2.86	2.5	9

Tabelle 20: Vergleich Südwest ohne Belaubung

3.3.5. Abschattung im Westen

Dokumentation der Horizontsituation auf dem Messpunkt West:

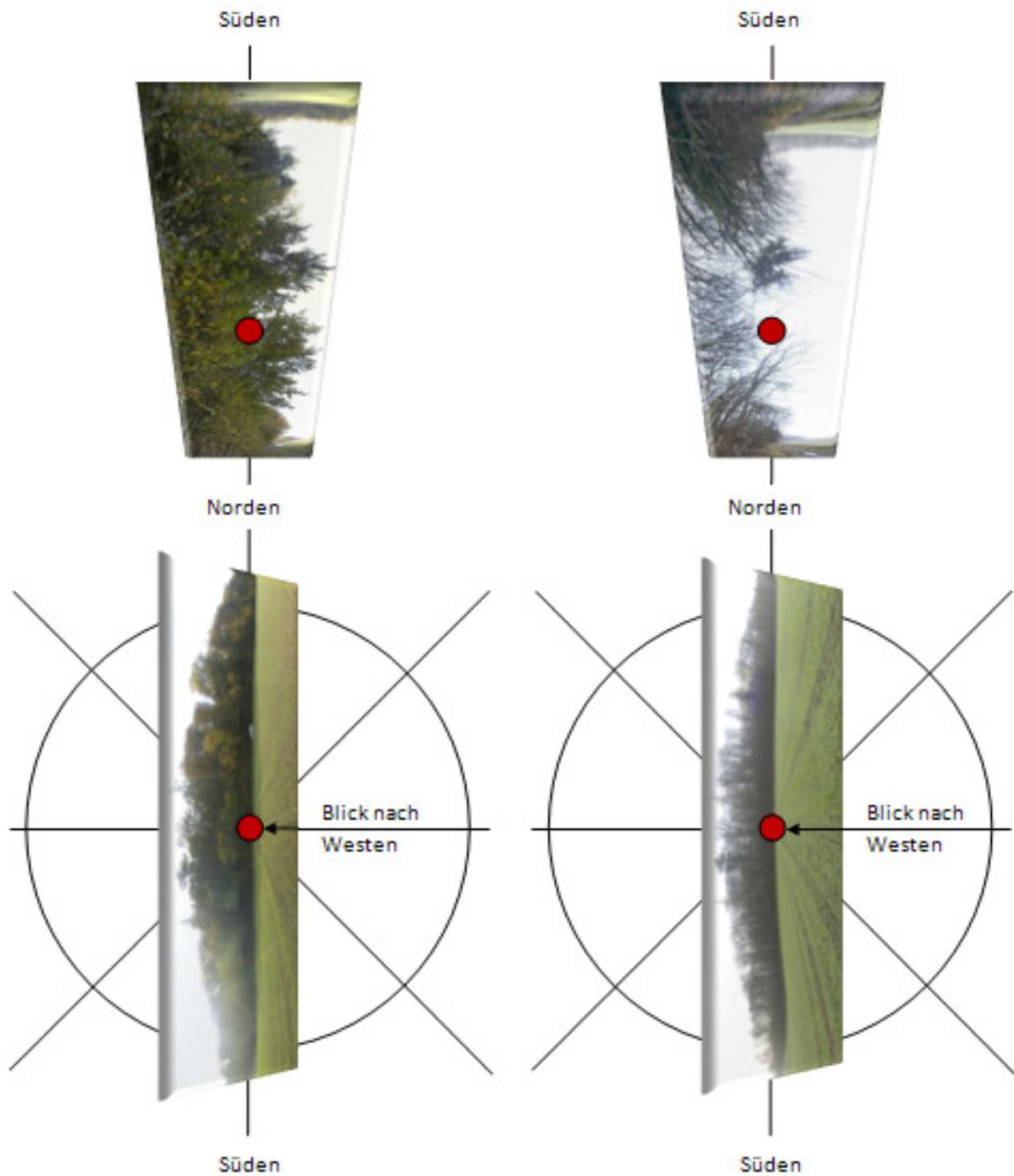


Abb. 70: West mit/ohne Belaubung

mit Belaubung

➤ unkorrigiert

Es ist eine linienhafte Ausdehnung der Positionen von Nordwest nach Südost zu verzeichnen. Relativ gesehen, liegen die Punkte sehr weit auseinander. Die maximale Abweichung zur Sollposition beträgt circa 5,7 m. Insgesamt sind vier Ausreißer deklariert.

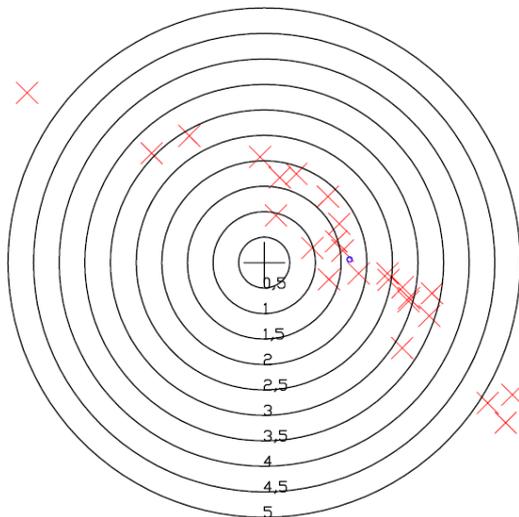


Abb. 71: West unkorrigiert mit Belaubung, M 1:150

➤ EGNOS

Diese Messung zeigt eine flächenhafte Ausbreitung der Positionen mit großen Punktabständen untereinander, im Kreisviertel zwischen Norden und Osten. Es ist ein Ausreißer mit einem Abstand von 25 Metern vom Sollpunkt in Richtung Nordost vorhanden. Trotz eines guten mittleren Pdop, von 2,7 konnten nur 10 Punkte innerhalb eines Radius von 1,5 Metern vom Sollpunkt aufgezeichnet werden.

ohne Belaubung

➤ unkorrigiert

Die Positionen sind linienhaft leicht systematisch nach Osten verschoben. Desweiteren können keine Punkthäufungen ausgemacht werden. In der Summe ergeben sich wesentlich größere Abweichungen als auf den Messpunkten zuvor. Die größte Abweichung beträgt etwa 4,7 Metern vom Absolutpunkt.

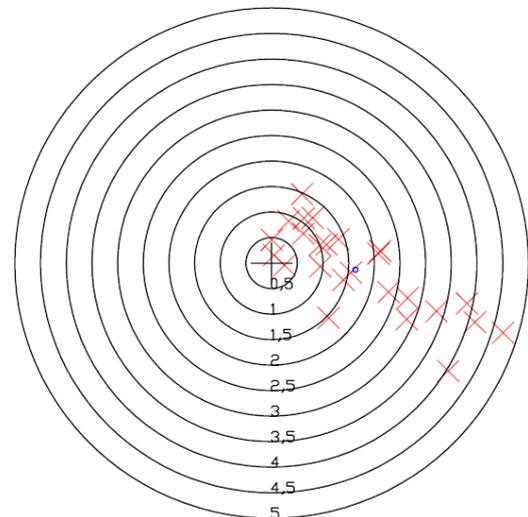


Abb. 74: West unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:150

➤ EGNOS

Es existiert ein systematischer Versatz der Punkte von circa 1,3 Metern Richtung Nordost von der Sollposition. Die Punktverteilung ist flächenhaft mit zum Teil größeren Punktabständen, jedoch etwas besser wie bei der Messung mit Belaubung.

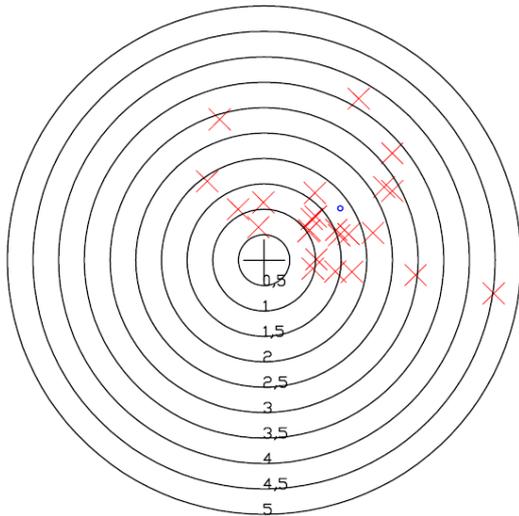


Abb. 72: West EGNOS mit Belaubung, M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Die aufgezeichneten Punkte weisen einen Verschiebungsvektor auf, der nach Südosten zeigt. Dennoch sind die Punkte gut um den Absolutpunkt verteilt.

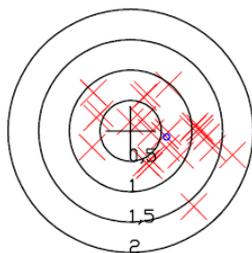


Abb. 73: West VRSnow mit Belaubung, M 1:125

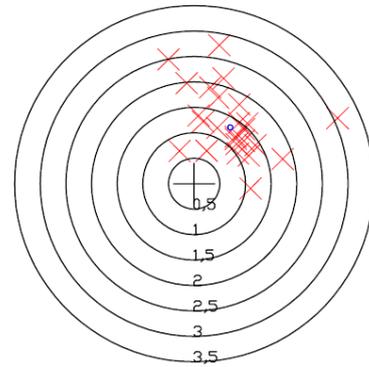


Abb. 75: West EGNOS ohne Belaubung, M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Diesmal ist ein systematischer Versatz in Richtung Osten vorhanden, wobei die Punkte flächig über dem östlichen Horizont verteilt sind. Die absolute wie auch relative Standardabweichung liegt bei etwa einem Meter.

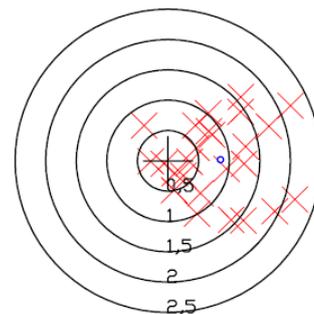


Abb. 76: West VRSnow ohne Belaubung, M 1:125

➤ SAPOS EPS

Die Positionen streuen mit einer systematischen Verschiebung nach Osten kreisförmig innerhalb von 2 Metern um die Sollposition. Es ist ein Ausreißer in nordwestlicher Rich-

tung mit einem Abstand von 6 Metern vom Referenzpunkt vorhanden.

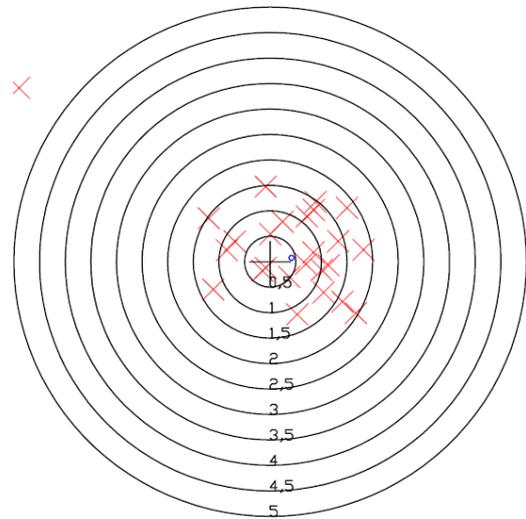


Abb. 77: West EPS ohne Belaubung, M 1:150

➤ **BEACON**

Es zeigt sich in etwa das gleiche Ergebnis wie beim Messpunkt Südwest (linienhafter Verlauf in Richtung Osten). Im Bereich von 0,5 bis 1,5 Metern ist eine Punkthäufung vorhanden. Ein Punkt befindet sich im Westen

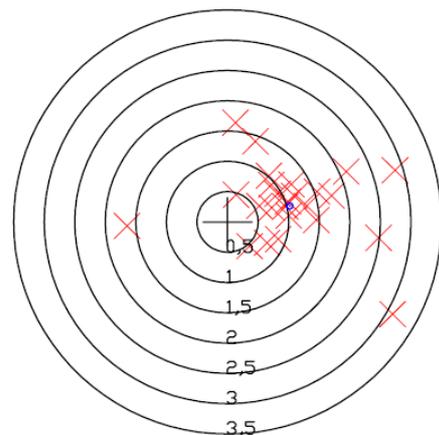


Abb. 78: West EPS ohne Belaubung, M 1:125

➤ Ergebnisvergleich (mit Belaubung)

Die Tests, bei denen der Korrekturdatendienst EGNOS und VRSnow verwendet wurden, können direkt miteinander verglichen werden (Pdop). Es ist davon auszugehen, dass zum Zeitpunkt der Messung eine ähnliche Satellitenkonstellation vorhanden war (vgl. hierzu Tabelle 21). Trotz dessen ist deutlich erkennbar, dass der Dienst VRSnow, bei dem sich 23 der 25 aufgezeichneten Positionen innerhalb des 1,5 Meter Kreises um die Sollposition verteilen, die besten Ergebnisse bietet.

Bei allen drei Messungen ist eine leichte systematische Verschiebung der Punktwolken nach Nordosten erkennbar (d.h. entgegen der Abschattungsrichtung).

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
Unkorrigiert	25	2	4	10
EGNOS	25	2	10	16
VRSnow	25	17	23	25
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert	3.07	2.71	4.3	6
EGNOS	5.38	4.94	2.7	7
VRSnow	0.91	0.78	2.8	8

Tabelle 21: Vergleich West mit Belaubung

➤ Ergebnisvergleich (ohne Belaubung)

Es ist ein überwiegender Versatz der Punktwolken nach Osten bzw. Nordosten, entgegen der Abschattungsrichtung, erkennbar. Auch hier lagen vergleichbare Aufnahmekonstellationen während der Messungen vor, was an den ähnlichen Mittelwerten der Pdop deutlich wird. Die Dienste VRSnow und EPS bieten vergleichbar gute Genauigkeiten, wobei EPS etwas bessere Ergebnisse trotz schlechteren Pdop liefert. Die etwas höheren Standardabweichungen bei EPS, verglichen mit VRSnow, sind auf einen Ausreißer mit einem linearen Abstand von circa 6 Metern von der Sollposition zurückzuführen.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
unkorrigiert	25	6	13	15
EGNOS	25	2	15	21
EPS	25	9	20	24
VRS now	25	14	19	23
BEACON	25	9	17	21
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
unkorrigiert	2.28	1.56	2.2	8
EGNOS	1.66	0.94	2.3	8
EPS	1.68	1.69	2.9	8
VRS now	1.19	0.92	2.4	8
BEACON	1.51	1.10	2.7	8

Tabelle 22: Vergleich West ohne Belaubung

3.3.6. Mäßige Abschattung des gesamten Horizontes (Wald-mittel)

Dokumentation der Horizontsituation auf dem Messpunkt Wald-mittel:



Abb. 79: Draufsicht Wald_mittel

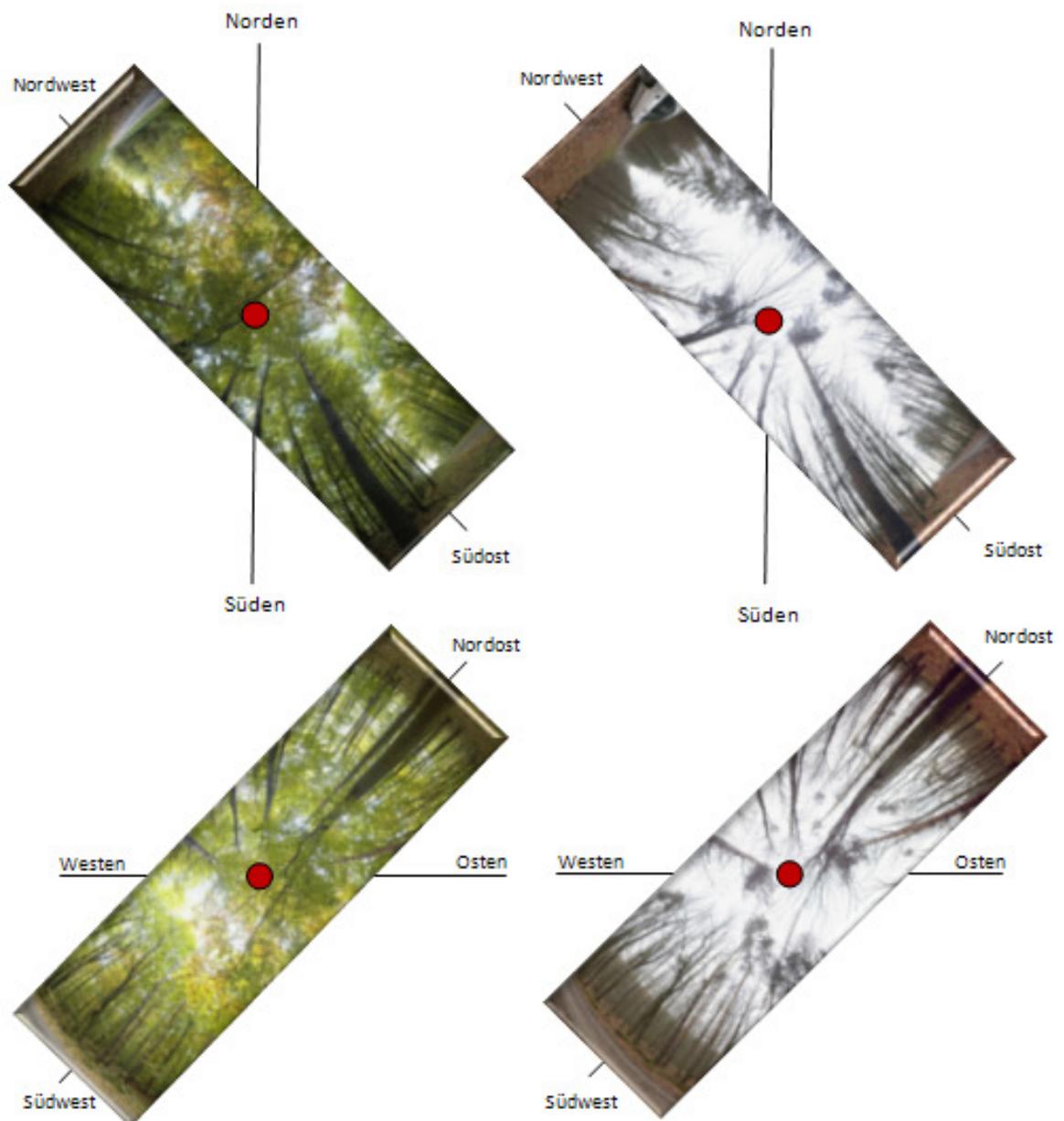


Abb. 80: Wald-mittel mit/ohne Belaubung (Bilder oben-Verlauf in Wegrichtung/unten Verlauf 90° zum Weg)

mit Belaubung

➤ unkorrigiert

Die Punkte befinden sich allesamt rechts der Linie von Nordost nach Südwest. Absolut, wie auch relativ gesehen, ist eine schlechte Punktgenauigkeit vorhanden. Dies wird durch 5 Ausreißer bestätigt. Der größte Abstand zur Sollposition beträgt circa 10,6 m.

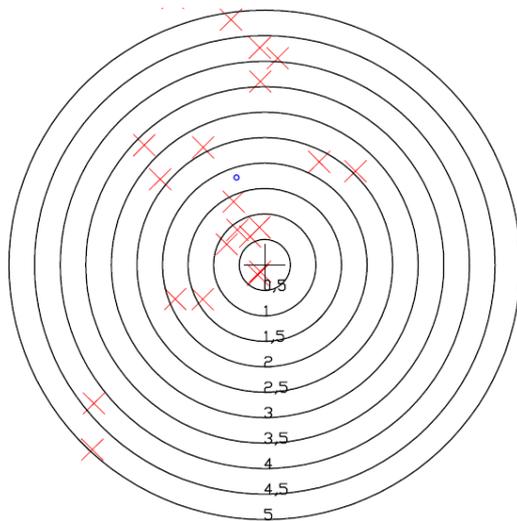


Abb. 81: Wald-mittel unkorrigiert mit Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

Bei dieser Testmessung konnten nur 17 von 25 möglichen Positionen registriert werden. Es zeigt sich eine sehr starke Streuung der Punkte mit sehr großen Punktabständen untereinander. Außerdem ist keine Punkthäufung und Verteilung der Punkte in eine bestimmte Richtung erkennbar. Ferner gibt es einen Ausreißer, mit einer Abweichung von

ohne Belaubung

➤ unkorrigiert

Es ist eine leichte Punktverlagerung Richtung Norden gegeben. Durch die weitreichende Abschirmung ist eine große Streuung der Punkte untereinander vorhanden. Insgesamt existieren sechs Ausreißer, die folgende Abweichungen aufweisen. Ein Punkt mit 62,5 Metern, zwei Punkte zwischen 10 und 12 Metern sowie drei Positionen, die bei circa sechs Metern liegen.

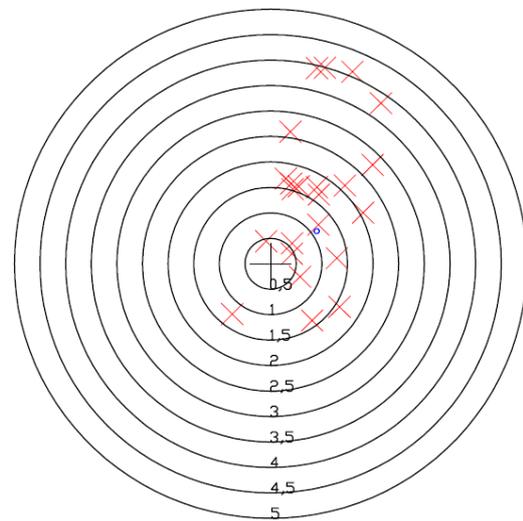


Abb. 84: Wald-mittel unkorrigiert ohne Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

Insgesamt wurden nur 8 von 25 möglichen Positionen gespeichert. Aus diesem Grund ist die Aufnahme nicht sehr repräsentativ und aussagekräftig. Die maximale lineare Abweichung zur Sollposition beträgt 6 Meter. Die restlichen Punkte verteilen sich alle innerhalb von 3 Metern um den Sollwert.

circa 85 Metern und zwei Ausreißer, mit einem Abstand von 7- 8 Metern vom Sollwert.

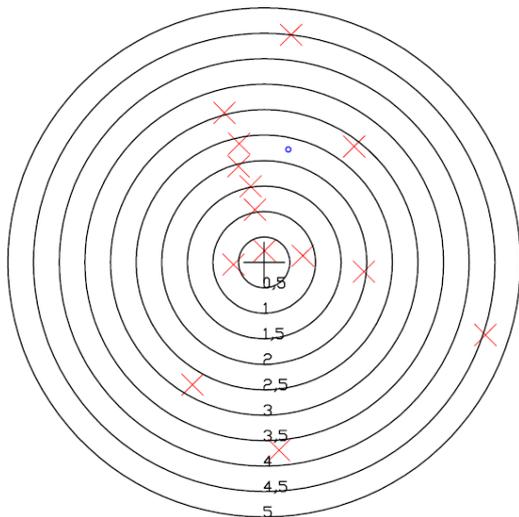


Abb. 82: Wald-mittel EGNOS mit Belaubung,
M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Hier macht sich erstmals deutlich die Abschattung bemerkbar. Die Positionen sind flächenhaft, mit größeren Punktabständen untereinander von Nordwesten nach Südosten, verteilt. Das relativ schlechte Ergebnis wird durch einen Ausreißer bestätigt, der einen Abstand von 12,7 m zum Sollpunkt hat.

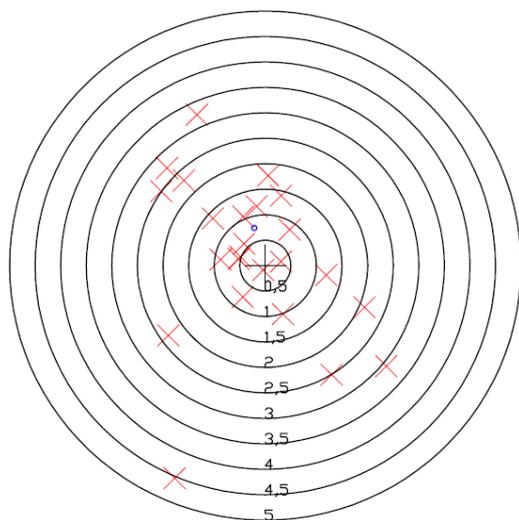


Abb. 83: Wald-mittel VRSnow mit Belaubung,
M 1:150

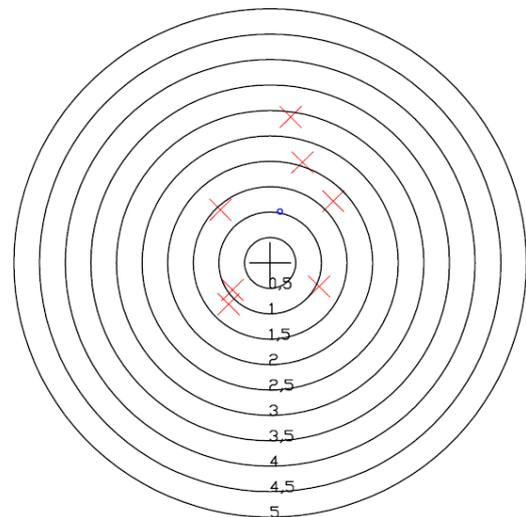


Abb. 85: Wald-mittel EGNOS ohne Belaubung,
M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Die Positionen verteilen sich linienhaft von Nord nach Süd über die Sollposition hinweg. Der größte Punktabstand beträgt 62,5 Metern zum Absolutpunkt. Insgesamt sind sechs Ausreißer vorhanden.

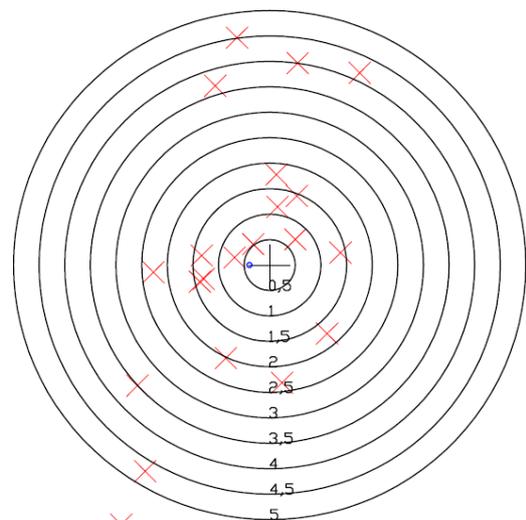


Abb. 86: Wald-mittel VRSnow ohne Belaubung,
M 1:150

➤ SAPOS EPS

Die Mehrzahl der Punkte verteilt sich linienhaft links der Achse von Norden nach Süden. Die Abstände der Positionen untereinander wachsen mit zunehmender Entfernung von der Sollposition. Trotz einer kompletten Überdachung des Messpunktes wurden keine Ausreißer festgestellt.

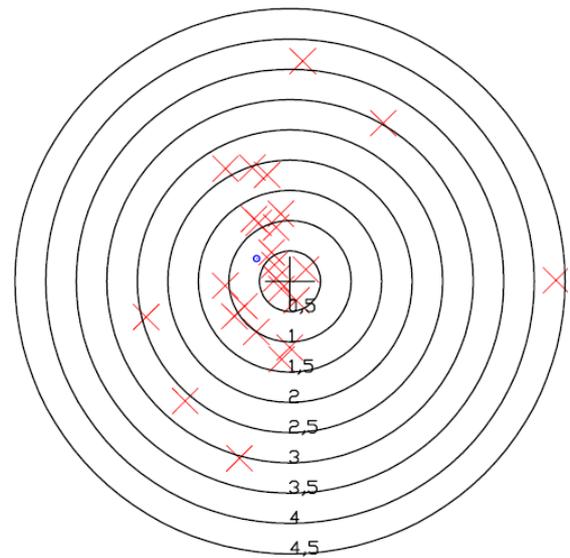


Abb. 87: Wald-mittel EPS ohne Belaubung, M 1:125

➤ BEACON

Die Hauptverteilung der Punkte erstreckt sich von Nordost nach Südwest mit großflächiger Ausbreitung und großen Punktabständen der Punkte untereinander. In der Summe sind drei Ausreißer vorhanden. Der Entfernteste liegt bei neun Metern.

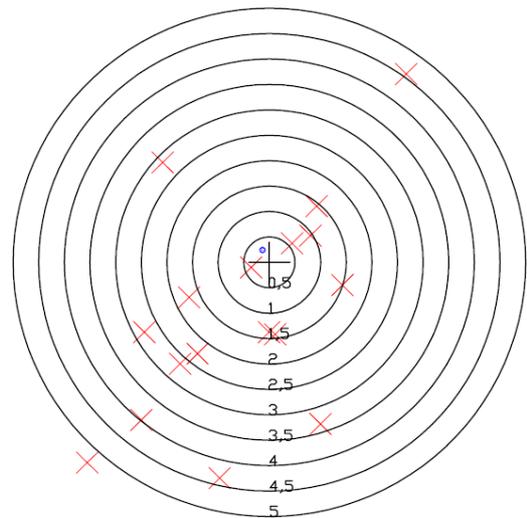


Abb. 88: Wald-mittel BEACON ohne Belaubung,

M 1:150

➤ Ergebnisvergleich (mit Belaubung)

Bei allen drei Messungen ist eine sehr große Streuung der Punkte untereinander vorhanden, wobei bei VRSnow eine gleichmäßigere und etwas dichtere Verteilung um die Sollposition zu erkennen ist. Somit wurde mit VRSnow das beste Ergebnis erzielt. Dies kann auf die etwas bessere Satellitenkonstellation während der Messung zurückgeführt werden.

Die Streuungen der Positionen lassen sich durch die Mehrwegeeffekte erklären, die durch die Blätter bzw. Äste an den Bäumen hervorgerufen werden..

Ferner konnten bei der Messung unter Verwendung von EGNOS nur 17 Positionen aufgezeichnet werden.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
Unkorrigiert	25	6	8	9
EGNOS	17	3	5	8
VRSnow	(mit Unterbrechung) 25	8	14	15
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert	4.53	4.17	5.0	7
EGNOS	21.00	21.06	4.3	7
VRSnow	3.24	3.24	3.8	7

Tabelle 23: Vergleich Wald-mittel mit Belaubung

➤ Ergebnisvergleich (ohne Belaubung)

Die Streuung der Punkte verläuft bei allen Messungen ohne Vorzugsrichtung, d.h. die Punkte sind in alle Richtungen um die Sollposition verteilt.

Das beste Ergebnis liefert die EPS-Messung, bei der als Einziger keine Ausreißer zu verzeichnen sind. Als Grund für das gute Messergebnis kann die gute Satellitenkonstellation während der Messung genannt werden.

Insgesamt konnten bei der EGNOS-Messung nur 8 Positionen sowie bei Beacon nur 19 Positionen aufgezeichnet werden.

Die große relative und absolute Standardabweichung bei VRSnow ist durch einen Ausreißer zu erklären, der 62,5 Meter von der Sollposition entfernt liegt.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
unkorrigiert	25	4	8	15
EGNOS	8	1	4	5
EPS	25	8	16	18
VRS now	25	3	9	11
BEACON	19	3	7	8
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
unkorrigiert	3.86	3.83	2.9	8
EGNOS	2.69	2.48	3.4	8
EPS	1.87	1.90	2.7	9
VRS now	13.21	13.49	4.4	8
BEACON	3.75	3.86	6.2	6

Tabelle 24: Vergleich Wald-mittel ohne Belaubung

3.3.7. Starke Abschattung des gesamten Horizontes (Wald-viel)

Dokumentation der Horizontsituation auf dem Messpunkt Wald-viel:



Abb. 89: Draufsicht Wald-viel

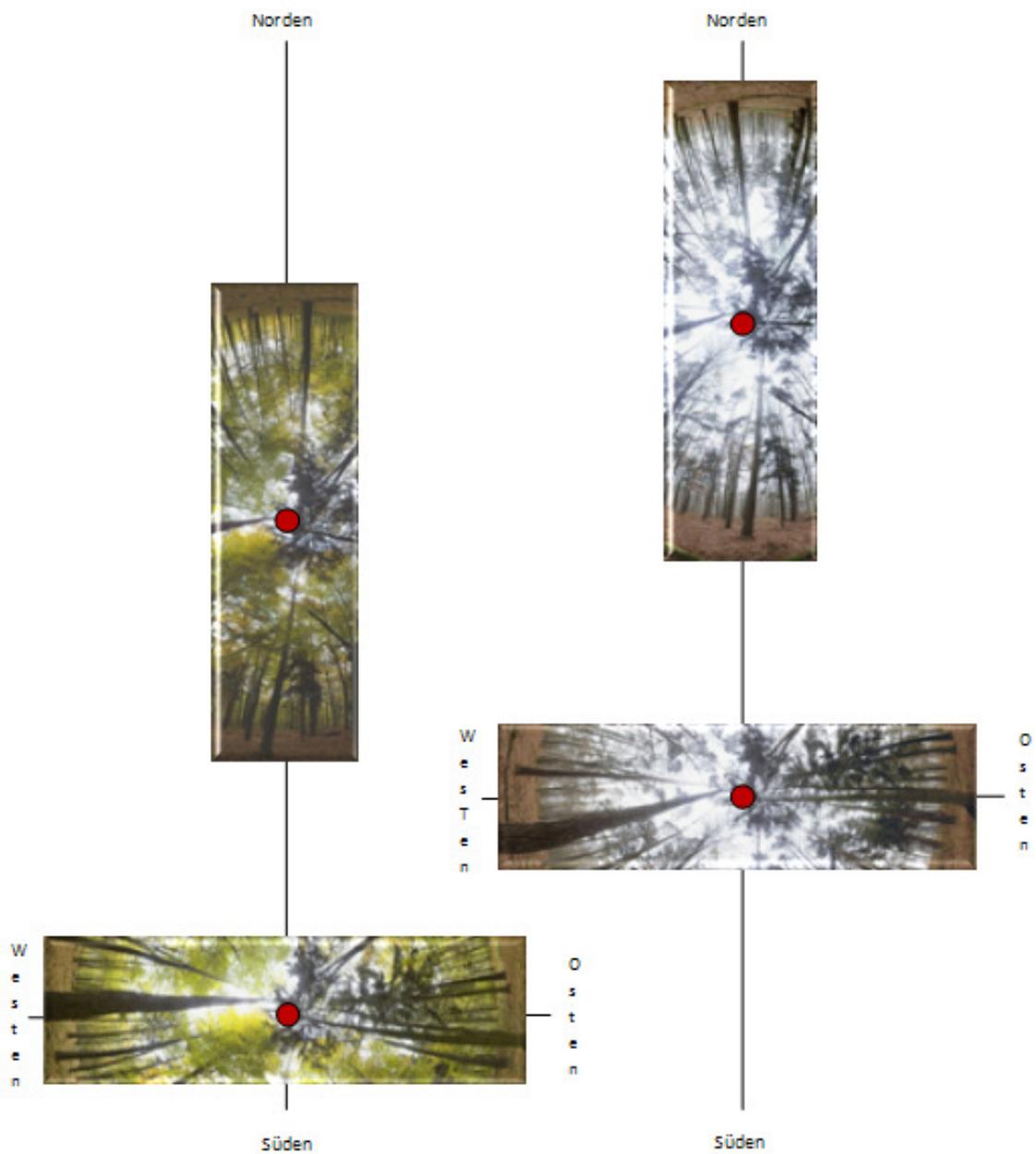


Abb. 90: Wald-viel mit/ohne Belaubung

mit Belaubung

➤ unkorrigiert

Es ist eine relativ gute Punktkonzentration um den Sollpunkt vorhanden. Eine systematische Verschiebung ist praktisch nicht zu erkennen. Durch eine sehr starke Beeinträchtigung, die durch die Horizontabschirmung hervorgerufen wird, ergeben sich fünf Ausreißer, wovon einer mit 120 Metern die größte Abweichung zum Sollpunkt beschreibt. Die vier Anderen liegen im Bereich von fünf bis zehn Metern.

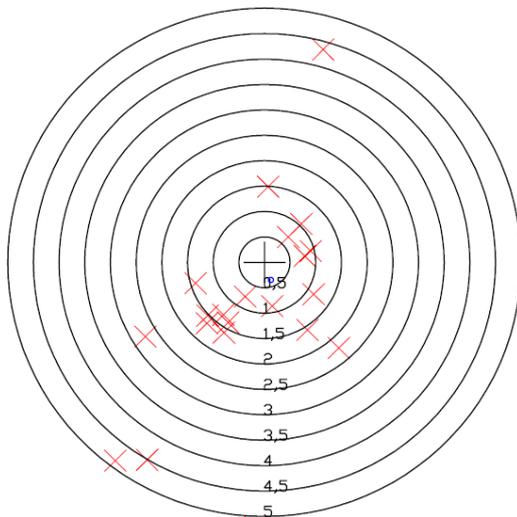


Abb. 91: Wald-viel unkorrigiert mit Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

Durch die Abschirmung über dem Messpunkt ist eine Verteilung der Positionen, mit großer Streuung und großen Punktabständen untereinander um die Sollposition, vergleichbar mit der Messung auf Wald-mittel, feststellbar. Es konnten jedoch alle 25 Positionen aufgezeichnet werden.

ohne Belaubung

➤ unkorrigiert

Es ist eine im Vergleich zu Wald-mittel noch größere Streuung der Punkte, mit systematischer Verschiebung in Richtung Norden erkennbar. Die größte Abweichung von der Sollposition befindet sich in einem Abstand von 15 m im Südosten. Insgesamt sind sieben Ausreißer vorhanden.

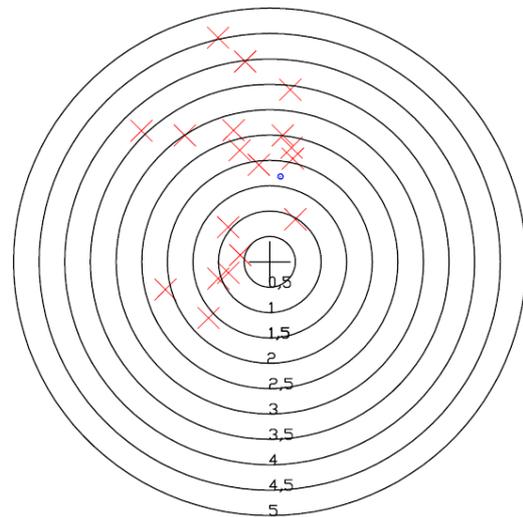


Abb. 94: Wald-viel unkorrigiert ohne Belaubung,
M 1:150

➤ EGNOS

Die Messung zeigt ebenfalls eine große flächenhafte Streuung der Punkte mit großen Punktabständen untereinander. Bei der Mehrzahl der registrierten Punkte ist eine systematische Verschiebung Richtung Nordosten festzustellen. Es gibt einen Ausreißer mit einem linearen Abstand von circa

Weiterhin gibt es einen Ausreißer bei 19 Metern, und zwei Ausreißer bei ungefähr 10 Metern Abstand von der Sollposition.

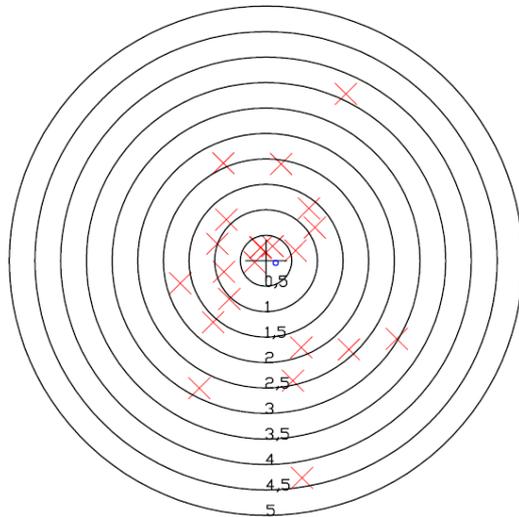


Abb. 92: Wald-viel EGNOS mit Belaubung,
M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Die Punktverteilung ist flächenhaft im südwestlichen Horizont. Die relative als auch absolute Standardabweichung der Positionen liegt bei etwa 6,5 m (vgl. hierzu Tabelle 25). Der P_{dop} war mit 7,1 im Mittel äußerst schlecht. Insgesamt gibt es 6 Ausreißer, wobei eine Position mit etwa 21 Metern, zwei zwischen 13 und 15 Metern sowie drei mit circa 6 Metern Abstand zur Sollposition liegen.

10 Metern im Norden und auch im Süden.

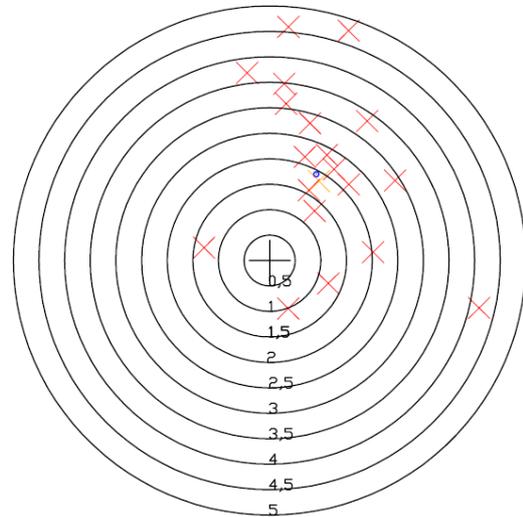


Abb. 95: Wald-viel EGNOS ohne Belaubung,
M 1:150

➤ Trimble VRSnow

Wiedererwarten ist ein besseres Ergebnis als auf dem Punkt Wald-mittel sowie bei Belaubung zu verzeichnen. Der größte Anteil der Punkte liegt im Bereich bis zu zwei Metern Abstand von der Sollposition. Die übrigen Positionen befinden sich nördlich des Absolutpunktes. Die größte Abweichung beträgt 5,6 m. Im Gesamten sind zwei Ausreißer vorhanden.

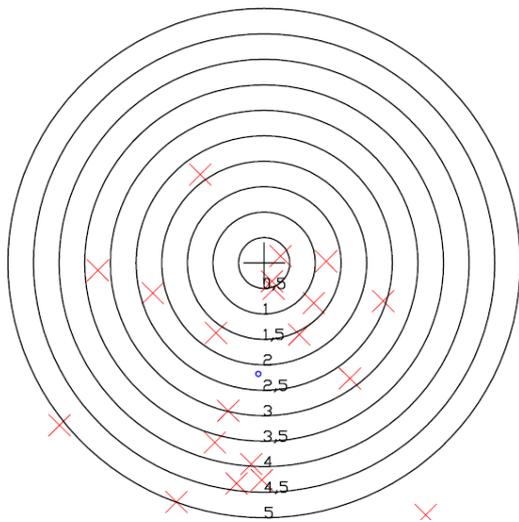


Abb. 93: Wald-viel VRSnow mit Belaubung,
M 1:150

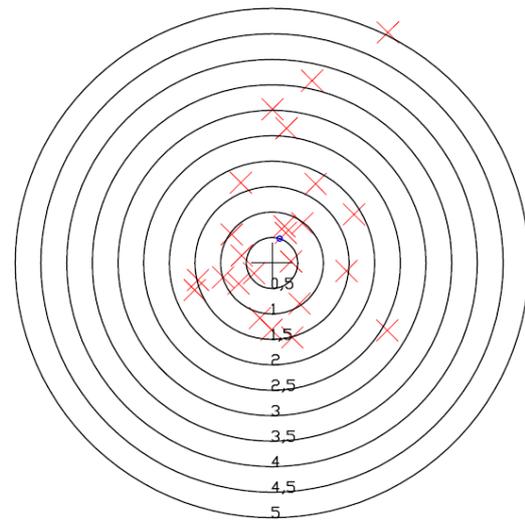


Abb. 96: Wald-viel VRSnow ohne Belaubung,
M 1:150

➤ SAPOS EPS

Es fällt auf, dass sich die Punktverteilung großflächig mit weiten Punktabständen in alle Richtungen außer nach Süden, erstreckt. Obwohl der Mittelwert des P_{dop}, verglichen mit den restlichen Messungen, am ungünstigsten ist, konnten 10 Punkte mit einem Abstand von weniger als 1,5 Metern von der Sollposition festgehalten werden. Selbst die vorhandenen 2 Ausreißer weisen mit einer maximalen linearen Abweichung von 7,3 Metern zum Referenzpunkt, eine, im Vergleich zu den anderen Messungen, geringere Differenz auf.

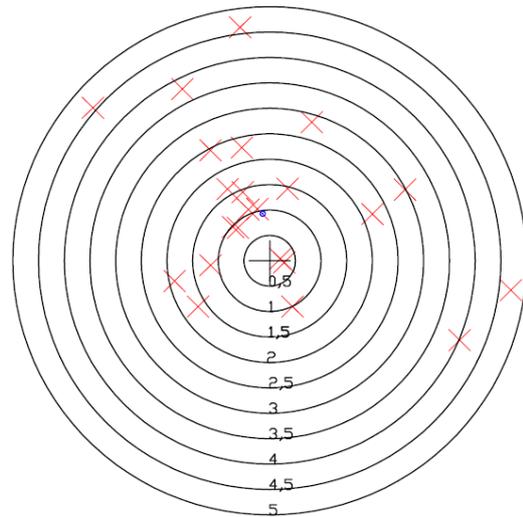


Abb. 97: Wald-viel EPS ohne Belaubung, M 1:150

➤ BEACON

In diesem Fall ist keine Verlagerung der Punkte zuerkennen. Die Punkte weichen bis auf Zwei, maximal 3,5 Meter von der Sollposition ab. Der vorhandene Ausreißer hat einen Abstand von 9,3 Metern zum Sollpunkt.

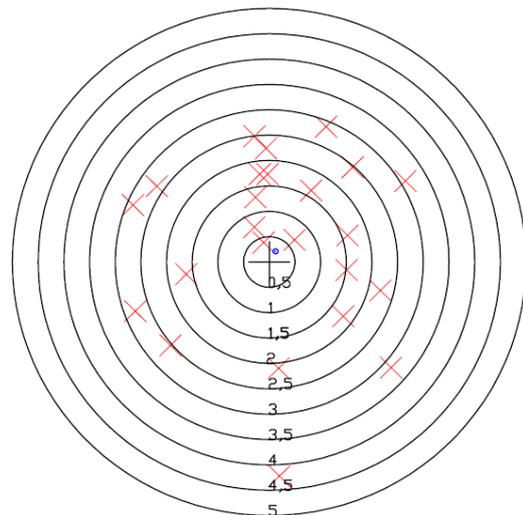


Abb. 98: Wald-viel BEACON ohne Belaubung,

M 1:150

➤ Ergebnisvergleich (ohne Belaubung)

Wie schon bei dem Messpunkt Wald-mittel, ist bei allen drei Messungen eine sehr große Ausbreitung der Punkte, ohne systematische Verschiebung, um die Sollposition zu verzeichnen. Überraschend ist jedoch, dass der Einsatz des Dienstes VRSnow hier das schlechteste Ergebnis liefert. Als Grund kann eine, während der Messung, schlechte Satellitenkonstellation genannt werden.

Die unkorrigierte sowie die EGNOS Messung liefern, jeweils mit 11 Positionen, die einen linearen Abstand von weniger als 1,5 Metern aufweisen, ein vergleichbares Ergebnis. Die hohen Standardabweichungen bei der unkorrigierten Messung sind auf einen Ausreißer mit einem Abstand von 120 m zurückzuführen.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
Unkorrigiert	25	5	11	15
EGNOS	25	6	11	15
VRSnow	25	3	5	7
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
Unkorrigiert	24.39	24.93	5.5	8
EGNOS	5.10	5.21	4.0	8
VRSnow	6.71	6.48	7.1	6

Tabelle 25: Vergleich Wald-viel mit Belaubung

➤ Ergebnisvergleich (mit Belaubung)

Teilweise ist ein leichter systematischer Versatz der Punkte nach Norden erkennbar. Die aufgezeichneten Positionen weisen, bei allen Messungen, eine großflächige Streuung mit großen Punktabständen untereinander, um die Sollposition auf.

Diesmal liefert VRSnow mit Abstand die besten Ergebnisse, was auf die gute Satellitenkonstellation während der Messung zurückzuführen ist.

Die übrigen Messungen können wegen der ähnlichen Mittelwerte des Pdops gut miteinander verglichen werden. Diese liefern jedoch, wie in Tabelle 26 ersichtlich, äußerst unterschiedliche Ergebnisse.

Art der Messung	Anzahl Positionen Gesamt	Anzahl Positionen < 1m	Anzahl Positionen < 1.5m	Anzahl Positionen < 2m
unkorrigiert	25	3	5	7
EGNOS	24	0	4	5
EPS	25	4	10	13
VRS now	25	10	14	19
BEACON	25	3	4	11
Art der Messung	Standardabweichung bezogen auf den Sollwert (absolut) [m]	Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert (relativ) [m]	Mittelwert Pdop	Mittelwert Satellitenanzahl
unkorrigiert	5.72	5.65	4.2	7
EGNOS	4.48	3.94	4.1	7
EPS	3.07	2.81	4.8	6
VRS now	2.20	2.12	3.0	8
BEACON	2.90	2.93	4.6	7

Tabelle 26: Vergleich Wald-viel ohne Belaubung

3.3.8. Ergebnisanalyse der beiden Messepochen

In der Tabelle 28, die nach Korrekturdatendienst gegliedert ist, sind alle Messungen des jeweiligen Korrekturdatendienstes unabhängig von den Messpunkten (Abschattungen) aufaddiert. Somit gibt Diese einen Überblick über die Qualität des jeweiligen Dienstes, die alle verwendeten Horizontabschattungen umfasst. D.h. es ergibt sich eine Abschattungsübergreifende Genauigkeitsaussage. Die Tendenz der systematischen Verschiebung wurde je Messung (Korrekturdatendienst) festgehalten und abhängig von der Horizontabschattung (pro Messpunkt) zusammengefasst.

Die Testmessungen lassen erkennen, dass, falls eine systematische Verschiebung der Punktwolke vorhanden ist, diese messpunktunabhängig überwiegend nach Norden gerichtet ist.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass der Einfluss der Belaubung eine untergeordnete Rolle spielt und somit das Positionsergebnis kaum beeinflusst. Dieses Ergebnis wird durch die vorliegende Literatur bestätigt [vgl. hierzu Heine und Gasch, 2008]. Eine weitere Bestätigung dieser Tatsache leitet sich aus dem folgenden Zitat ab, *„Bei GPS-Messungen im Wald haben die Strukturen von Ästen und Baumstämmen sowie die Belaubung einen direkten Einfluß auf die Messgenauigkeit. Es handelt sich bei den GPS-Signalen um elektromagnetische Wellen, welche die Eigenschaft besitzen, bestimmte Materialien durchdringen zu können. Während Stämme und dicke Äste die Ausbreitung der GPS-Signale völlig blockieren können, werden sie durch Belaubung und dünne Äste genau wie durch Nebel, Regen oder Schnee nicht vollständig reflektiert sondern nur unterschiedlich stark gedämpft bzw. gebeugt oder verzerrt.“* [vgl. hierzu Korth und Resnik, 2005].

Ersichtlich ist auch, dass der Korrekturdienst Trimble VRSnow, unabhängig von der Belaubung, die besten Ergebnisse liefert. Annähernd vergleichbare Ergebnisse wurden mit dem SAPOS EPS – Dienst erzielt (vgl. hierzu Tabelle 28).

Aus der Tabelle 28 wird auch deutlich, dass EGNOS keine Verbesserung der Positionierung gegenüber einer unkorrigierten Messung bewirkt. Desweiteren war die Zuverlässigkeit des Dienstes eingeschränkt, da dieser auf den Punkten Südost und Südwest nicht zu empfangen war. Dies gilt für beide Messepochen.

In der ersten Messepoche (mit Belaubung) ergeben sich, lässt man die unkorrigierte Messung ($\pm 24,39$ m auf Messpunkt Wald-viel) außen vor, absolute Standardabweichungen zwischen $\pm 0,63$ m (Messpunkt Süd / Trimble VRSnow) und $\pm 21,00$ m (Messpunkt Wald-mittel / EGNOS).

Bei der zweiten Messepoche (ohne Belaubung), liegt der Minimalwert der Standardabweichung absolut bei $\pm 0,74$ m (Messpunkt Süd / Trimble VRSnow). Der Maximalwert beläuft sich auf $\pm 13,21$ m (Wald-mittel / Trimble VRSnow).

Die in beiden Messepochen vorhandenen hohen Standardabweichungen sind durch Ausreißer bedingt, die einen großen Abstand vom Sollpunkt aufweisen.

Einfluss der Horizontabschattung:

Um eine Aussage darüber treffen zu können, welche Horizontabschattung den größten Einfluss auf eine GNSS-Handheldmessung hat, wurden die einzelnen Messpunkte für sich betrachtet. D.h. es erfolgt keine Trennung zwischen den verschiedenen Korrekturdatendiensten.

Addiert man nun alle Messungen, die auf dem jeweiligen Messpunkt (z.B. Ost) zustande kamen, so erhält man den Mittelwert des P_{dop}, der Satellitenanzahl und der Positionen <1,5 m von all diesen Messungen. Diese drei Mittelwerte können für eine Aussage bezüglich der Horizontabschattung herangezogen werden. Die Tabelle 27 listet diese Mittelwerte auf.

Erreichte Mittelwerte*

Messpunkt	Mittelwert P _{dop} aller Messungen	Mittelwert Satellitenanzahl aller Messungen	Mittelwert Anzahl der Positionen <1.5 m
Ost	2.4	8.5	16
Südost	3.2	8.2	15
Süd	2.3	8.8	19
Südwest	2.7	7.8	16
West	2.8	7.6	15
Wald mittel	4.1	7.5	9
Wald viel	4.7	7.1	8

*unter Berücksichtigung der 2 Messepochen ("mit" und "ohne" Belaubung) und aller Korrekturdienste auf dem jeweiligen Messpunkt

Tabelle 27: Erreichte Mittelwerte

Wie in der Tabelle 27 zu erkennen, weist der P_{dop} auf dem Punkt Süd den vorteilhaftesten Wert auf. Dies war vorausszusehen, da trotz Abschattung im Süden, Schnittfiguren mit einem großen Volumen (niedriger / vorteilhafter P_{dop}) gebildet werden können. Der P_{dop} im Osten beziehungsweise im Westen ist dagegen etwas ungünstiger, da sich das Volumen der Schnittfiguren durch die bestehende Abschattung und das sich im Norden befindliche Satellitenloch verkleinert. Dementsprechend ergibt sich im Südosten beziehungsweise Südwesten ein noch kleineres Volumen der Schnittfigur und somit auch ein noch unvorteilhafterer P_{dop} (vgl. Abb. 99). Theoretisch gesehen, müsste der P_{dop} im Osten und Westen / Südosten und Südwesten nahezu identische Werte aufweisen. Da die Messungen jedoch bei unterschiedlicher Satellitenkonstellation (Satellitenanzahl, DOP) stattfanden, können hiermit die geringfügigen Unterschiede erklärt werden.

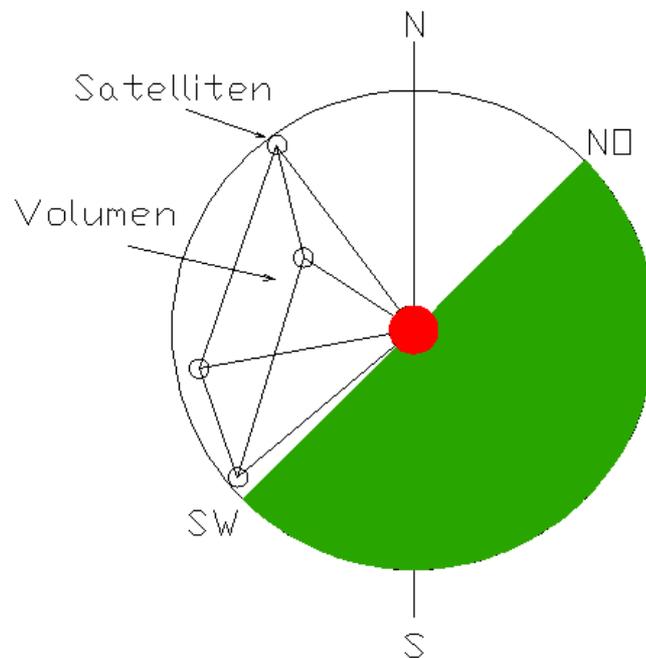


Abb. 99: Volumen der Schnittfigur am Beispiel Südost

Vergleich der Dienste mit Belaubung & ohne Belaubung

Mit Belaubung (I. Messepoche)

Korrekturdienst	Sollanzahl der Positionen	Istanzahl der Positionen	Anzahl Positionen < 1 m Gesamt*	in %	Anzahl Positionen < 1,5 m Gesamt*	in %	Anzahl Positionen < 2 m Gesamt*	in %	Korrekturdienst auf allen Punkten verfügbar	Ausreißer* ²	Mittelwert des Pdp
Unkorrigiert	175	173	40	23	61	35	88	50	-/-	19	4.1
EGNOS	175	117	28	16	65	37	80	46	nein	6	3.1
VRSnow	175	175	101	58	132	75	140	80	ja	7	3.4

Ohne Belaubung (II. Messepoche)

Korrekturdienst	Sollanzahl der Positionen	Istanzahl der Positionen	Anzahl Positionen < 1 m Gesamt*	in %	Anzahl Positionen < 1,5 m Gesamt*	in %	Anzahl Positionen < 2 m Gesamt*	in %	Korrekturdienst auf allen Punkten verfügbar	Ausreißer* ²	Mittelwert des Pdp
Unkorrigiert	175	175	35	20	90	51	117	67	-/-	9	2.5
EGNOS	175	108	12	7	47	27	70	40	nein	8	3.0
VRSnow	175	175	98	56	123	70	144	82	ja	8	2.9
SAPOS EPS	175	175	70	40	116	66	140	80	ja	3	2.9
BEACON	175	166	59	34	88	50	113	65	ja	7	3.4

*Gesamt = Anzahl der Positionen, die mit dem jeweiligen Korrekturdienst auf allen 7 Abschattungspunkten unter Berücksichtigung der Genauigkeit erfasst werden konnten

*² In diesem Fall ist von einem Ausreißer die Rede, wenn die lineare Abweichung zur Sollposition > 5 m ist

Systematische Verschiebung

Messpunkt	Richtung systematische Verschiebung der Positionen	
	mit Belaubung	ohne Belaubung
Ost	Norden	Norden
Südost	Norden/Westen	Nordwesten/Norden
Süd	Norden/Nordosten	Norden
Südwest	Osten	Nordost/Osten
West	Südosten/Osten/Nordosten	Osten/Nordosten
Wald mittel	Streuung um die Sollposition ohne Richtungstendenz	Streuung um die Sollposition ohne Richtungstendenz
Wald viel	Streuung um die Sollposition ohne Richtungstendenz	Norden

Tabelle 28: Zusammenstellung der Korrekturdienste „mit“ und „ohne“ Belaubung

4.Fazit

Es kann nicht zwangsläufig davon ausgegangen werden, dass durch den Einsatz von Korrekturdatendiensten ein besseres Ergebnis erzielt werden kann. Diese Aussage gilt vor allem bei Punkten, die keine Abschattung aufweisen (vgl. hierzu 3.2.1.1. (unkorrigierte Messung „freie Lage“) sowie Tabelle und Abbildungen Seite 52)

Die Zuverlässigkeit für eine gute Genauigkeit ist bei der unkorrigierten Positionsbestimmung jedoch nicht kalkulierbar. Das bedeutet, dass bei der unkorrigierten Messung sehr gute Werte nahe der Sollposition, aber auch Werte, die eine sehr große Abweichung zur Sollposition haben, erreicht werden können.

Grundsätzlich ist aber festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit einer präzisen Absolutbestimmung beim Vorhandensein einer Abschattung durch die Nutzung von Korrekturdatendiensten steigt (vgl. hierzu Tabellen 28). Dies wird dadurch verdeutlicht, dass bei Verwendung der Dienste Trimble VRSnow und SAPOS EPS circa 70 % der aufgezeichneten Positionen innerhalb eines Radius von 1,5 m um die Sollposition liegen. Eine Ausnahme stellt der EGNOS Dienst dar. In unserem Fall wurden mit EGNOS durchweg schlechtere Ergebnisse als bei den Messungen ohne differentielle Korrektur erzielt.

Hinzu kommt, dass die geostationären EGNOS-Satelliten, da sie sich im Süden unter einem relativ geringen Elevationswinkel befinden, leicht durch Hügel, Gebäude oder Wald in eben dieser Richtung abgeschattet werden können.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass es bei Messungen unter Einfluss von Vegetation zu zufälligen Ausfallzeiten der Positionsbestimmung oder des Korrekturdatenempfangs kommen kann. Auch ist nicht vorhersehbar, wie massiv die Abweichung einer Position bezogen auf die Sollposition ist. Die Abweichung kann wenige Millimeter bis zu mehreren 100 Metern betragen.

Vergleicht man die beiden Geräte, Topcon GMS-2 und Trimble GeoXT, ohne und mit dem Korrekturdatendienst BEACON, so fällt auf, dass das Topcon GMS-2 etwas schlechter abschneidet. Diese Aussage bezieht sich nur auf Messungen in „freier Lage“, da das Topcon Gerät unter den Abschattungsmessungen nicht zum Einsatz kam.

Alle getroffenen Aussagen sind durch die verhältnismäßig geringe Anzahl der von uns durchgeführten Messungen nicht allgemein gültig, sondern beziehen sich lediglich auf die erzielten Messergebnisse.

B. GNSS und Geobasisdaten am Amt für Landwirtschaft und Forsten

1. Einleitung

Nachdem es im Teil A primär um die Qualitätsuntersuchung verschiedener Korrekturdatendienste in Verbindung mit GNSS geht, soll sich dieser Teil mit der praktischen Anwendung dieser am Amt für Landwirtschaft und Forsten (ALF) auseinandersetzen. Praktische Anwendung bedeutet, dass mit dem GNSS Gerät der Forstverwaltung fiktive Messungen unter realen Bedingungen durchgeführt wurden.

Die Messungen sollen aufzeigen, welche Größenordnung der Flächenfehler aufweist, wenn eine Förderfläche, mit dem im Forst üblichen Verfahren, bestimmt wird. Es wird untersucht, wie gerecht die Aufteilung einer Förderfläche erfolgt, sofern dieses auf mehreren Flurstücken liegt. Weiterhin soll dargelegt werden, welchen Anteil ungenaue Geobasisdaten und die GNSS-Messung daran haben. Diesbezüglich soll auch aufgezeigt werden, welche Bedeutung den Geobasisdaten am Amt für Landwirtschaft und Forsten zukommen.

2. Grundlagen Teil B

2.1. Entstehungsgeschichte der Flurkarte in Bayern (DFK)

2.1.1. Von der Örtlichkeit zur analogen Karte

Der Ursprung des Katasters geht auf die Gründung der königlichen unmittelbaren Steuervermessungskommission im Jahre 1808 zurück. Hauptzweck war die Verteilung der Steuern auf einer gerechten und einheitlichen Grundlage. Aber schon damals war das Kataster ein Mehrzweckkataster, was aus der Messungsinstruktion von 1808: *“Die Karte, welche aus dieser Messung hervorgehen sollte, muss zu allen Zwecken der Staatswirtschaft tauglich sein“* [vgl. hierzu Fischer, 2006] hervorgeht. Das Kataster war also ein vollständiger Nachweis aller Grundstücke und somit eine einheitliche geodätische Grundlage. Es wurde eine Rahmenkarte mit runden Maßstäben erzeugt, die vervielfältigungsfähig war.

Die Flächenermittlung stand bei der Aufstellung des Grundsteuerkatasters im Vordergrund. Die Aufnahme, meist im Maßstab 1:5000, erfolgte mit dem Messtisch. Die Standortbestimmung geschah durch Rückwärtseinschneiden aus drei signalisierten Festpunkten, die aus dem trigonometrischen Netz und dem graphisch bestimmten Flurnetz stammten. Das trigonometrische Netz bildete also die Grundlage für die Messtischaufnahme.

Für die Erstellung dieses Grundlagennetzes wurde eine Grundlinie, mit fünf Meter langen Messstangen aus trockenem Tannenholz, zwischen München und Aufkirchen gemessen. Nach Reduktion auf den Meereshorizont ergab sich eine Länge von 21.653,80 m. Zur Kontrolle des Netzmaßstabes wurde eine zweite „fränkische“ Grundlinie zwischen Nürnberg und Bruck gemessen, die sich auf 13.796,56 m belief, und eine gute Übereinstimmung mit der aus der Münchner Basis abgeleiteten Länge ergab. Die Triangulierung des Netzes erfolgte durch reine Winkelmessung mit Repetitionstheodoliten. Die Koordinierung der gemessenen Netzpunkte erfolgte im, nach Soldner benannten, alten bayerischen (sphärischen) Koordinatensystem, dessen Ursprung im nördlichen Turm der Münchner Frauenkirche liegt.

Mit der Messtischaufnahme wurden die Grundstücksgrenzen, Gebäude und Bauwerke, Nutzungsgrenzen, Wege und Gewässer aufgenommen. Dafür wurde der Aufnahmepunkt mit einem kippbaren Fernrohr, welches mit einem Lineal verbunden war, angezielt (vgl. Abb. 100). Somit war ein sofortiges einzeichnen der Visurlinie im Messtischblatt möglich. Die Entfernungsmessung erfolgte durch eine Messkette oder optisch durch den Reichenbachschen Distanzmesser. Die Messergebnisse wurden bis auf Ausnahmen (Brouillon) nicht in Zahlen festgehalten. Es handelte sich also um ein rein grafisches Kataster. Zur Sicherung, der im Felde erstellten Karte, wurde diese, anschließend seitenverkehrt mit Hilfe der Lithografie, auf die Solnhofer Steinplatten übertragen. Somit war eine seitenrichtige Vervielfältigung sowie eine Fortführung der Karten (durch Abschleifen und Neugravur) möglich. [vgl. hierzu Ziegler, 1993].

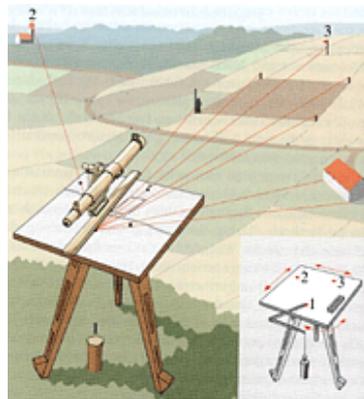


Abb. 100: Prinzip der Messtischaufnahme

2.1.2. Die analoge Karte wird digital

Durch die Entwicklung der Lichtpaustechnik wurden erstmals transparente Zeichenträger zur Flurkartenfortführung benutzt. Es erfolgte der Abdruck der Flurkarten auf Klarzellfolien. Anlass dafür war hauptsächlich die Durchführung der Reichsbodenschätzung im Jahre 1934. Als Vorteil erwiesen sich das geringe Gewicht, die Handlichkeit und Transparenz der Klarzellfolien gegenüber den Solnhofer Steinplatten. Nachteilig wies sich allerdings die geringe Maßbeständigkeit der Folien aus. Die Klarzellfolien wurden ab 1949 nach und nach durch Kunststofffolien (Astralonfolien), die maßhaltiger als Klarzellfolien und mit folienanlösender Tusche gut bezeichnbar waren, ersetzt. Durch die Anwendung des Lichtpausverfahrens auf die aktualisierten Folien, ergab sich ein wesentlicher Vorzug, sodass die Flurkarten ständig aktuell gehalten werden konnten.

Mit dem Koordinatenerfassungsgerät Aristogrid CD 100 zum Digitalisieren begann 1972 das digitale Zeitalter der Flurkartenaktualisierung. Unter Digitalisierung versteht man hierbei „*die Umwandlung von traditionellen, analogen Medien (gedruckter Text oder gedrucktes Bild auf Papier, laufender Film auf einem 35mm-Film, analoge Tonaufzeichnung auf einem herkömmlichen Tonband) in eine digital gespeicherte, d.h. codierte Form.*“ [vgl. hierzu Professur für Geodäsie und Geoinformatik Uni Rostock, 2002]. Bei der Flurkartendigitalisierung wurde der Grundriss punktweise in einem Tischkoordinatensystem mittels Digitalisiertablett erfasst und auf Papierlochstreifen ausgegeben. Anschließend erfolgte die automatische Gravur mit dem Präzisionszeichenautomaten Coragraph DC 2 auf beschichteten Folien. Da bereits 1975 mehr als die Hälfte aller analogen Flurkarten durch Digitalisierung erneuert wurden, erfolgte 1977 der Staatsauftrag zur Fertigung eines modernen Katasterkartenwerks.

Durch die Weiterentwicklung der Digitalisierungssysteme, die aus Digitalisiertablett mit Digitalisierlupe, Graphik-Bildschirm, Rechner und Tastatur bestanden, geschah die Digitalisierung nun graphisch und interaktiv. Die gemeinsame Verarbeitung von Raster- und Vektordaten, ermöglichte nun die Flurkarte als Hintergrund zur Digitalisierung des Grundrisses zu verwenden. Hierfür wurde die analoge Flurkarte gescannt und über Blattecken entzerrt.

Mit dem ab 1996 entwickelten EDV-Projekt, erfolgte die Übernahme, der nun digitalen Flurkartenerneuerungen in das DFK-Archiv der Vermessungsämter. Nach Mobilisierung aller Ressourcen der bayerischen Vermessungsverwaltung konnte die digitale Flurkarte (DFK) 2003 komplett fertiggestellt werden. [vgl. hierzu Dengelmann und Kollmuß, 2004].

Die Herstellung der DFK erfolgte demnach durch verschiedene Möglichkeiten [vgl. Glasner, 2001]:

- Übernahme der Koordinaten aus den Koordinatenarchiven der Vermessungsämter
- Koordinierung des bestehenden Zahlenkatasters zusammen mit Ergänzungsmessungen
- Katasterneuvermessungen
- Digitalisierung der analogen Flurkarte und Transformation ins GK-System

2.2. Transformationen

Zum Bearbeiten des fünften Abschnitts dieser Diplomarbeit sind zwei Transformationen verwendet worden. Auf Jene, soll an dieser Stelle, kurz eingegangen werden. Dabei handelt es sich um typische 2D-Transformationen.

Transformationen werden verwendet, um die Koordinaten von Punkten von einem Ausgangssystem (z.B. lokales System) in ein Zielsystem (z.B. globales System) zu übertragen (vgl. hierzu Abb. 101) Um die Transformationsparameter berechnen zu können, werden identische Punkte (Passpunkte) in beiden Systemen benötigt.

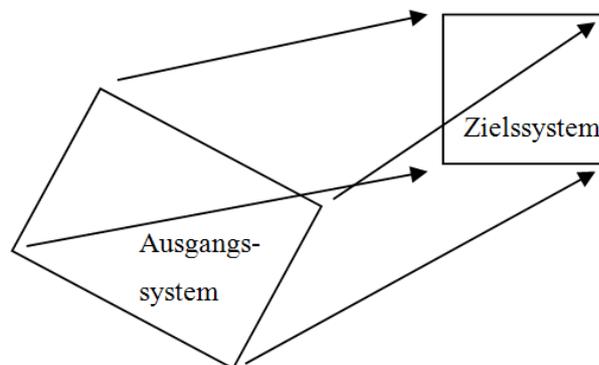


Abb. 101: Prinzipskizze Transformation

Die Transformation geschieht in zwei Schritten. Zuerst erfolgt die Festlegung der Transformationsfunktion sowie die Bestimmung der Transformationsparameter durch die Passpunkte. Anschließend wird die Transformation durchgeführt, d.h. es werden die Koordinaten des Ausgangssystems in das Zielsystem, für eine oft sehr große Punktzahl, umgerechnet [vgl. hierzu Müller, W., 2007].

Zur Beurteilung der Qualität einer Transformation dienen Restklaffen, die sich aus Koordinatendifferenzen der Passpunkte ergeben.

2.2.1. Helmertransformations

Die zweidimensionale Helmertransformations (F.R. Helmer, 1893) wird auch konforme Transformation oder Ähnlichkeitstransformation genannt, da Winkelgrößen erhalten bleiben und sich Streckenlängen proportional ändern. D.h. Quadrate werden als Quadrate und Kreise als Kreise abgebildet.

Die Transformationsgleichungen der Helmertransformations lauten:

$$X = a + m (\cos \alpha) x - m (\sin \alpha) y$$

$$Y = b + m (\sin \alpha) x + m (\cos \alpha) y$$

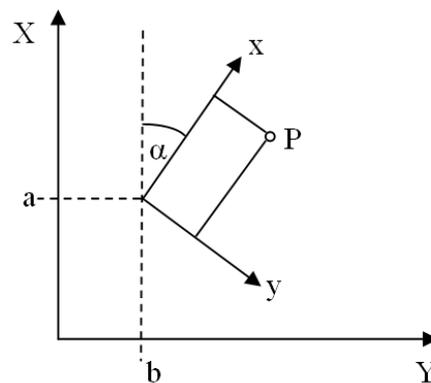


Abb. 102: Prinzip der Helmertransformations (Ähnlichkeitstransformation)

Dabei haben die Transformationsparameter folgende Bedeutung:

a, b : Translation (Verschiebung) längs der X- und Y-Achse zwischen den Ursprüngen der beiden Koordinatensystemen

α : Rotationswinkel der Achsen des x,y-Systems in Bezug auf das X,Y-System. Bei der Drehung im Uhrzeigersinn ist der Drehwinkel positiv.

m: Maßstabsfaktor zwischen beiden Koordinatensystemen. Dieser Effekt ist in der Abbildung nicht sichtbar, tritt aber bei realen Aufgaben häufig auf.

Zur Durchführung einer Helmertransformations werden mindestens 2 Passpunkte benötigt.

2.2.2. Affintransformation

Durch eine Modifikation der Helmertransformations gelangt man zur zweidimensionalen Affintransformation, die insgesamt 6 Parameter aufweist.

Dabei wird für jede Koordinatenrichtung x , y im Ausgangssystem ein eigener Maßstabsfaktor m_x und m_y eingeführt.

Weiterhin wird die Rechtwinkligkeit zwischen den Achsen des Ausgangskordinatensystems aufgegeben. Das bedeutet, dass neben dem Rotationswinkel α für die x -Achse ein weiterer Rotationswinkel β für die y -Achse eingeführt wird.

Es werden daher mindestens 3 identische Punkte benötigt, um eine Affintransformation durchzuführen.

Die Transformationsgleichungen der Affintransformation lauten:

$$X = a + m_x (\cos \alpha) x - m_y (\sin \beta) y$$

$$Y = b + m_x (\sin \alpha) x + m_y (\cos \beta) y$$

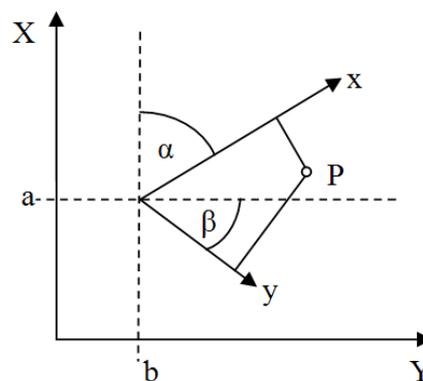


Abb. 103: Prinzip der Affintransformation

„Bei der Affin Transformation bleibt die Geradlinigkeit von Linien erhalten, die Form von Figuren jedoch nicht (aus einem Quadrat wird ein schiefwinkliges Viereck)“ [vgl. hierzu Müller, W., 2007]. Will man die Rechtwinkligkeit zwischen den Koordinatenachsen aufrechterhalten, so muss auf den Drehwinkel β verzichtet werden (5 Parameter Transformation).

2.3. Amt für Landwirtschaft und Forsten

2.3.1. Aufbau der Forstverwaltung

Die Forstverwaltung/Landwirtschaftsverwaltung ist ein Teil des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Das Ministerium besteht aus acht Abteilungen, wobei Abteilung F für „Wald und Forstwirtschaft -Forstverwaltung-“ und Abteilung L für „Landwirtschaftliche Erzeugung“ zuständig ist. Beide Abteilungen untergliedern sich ihrerseits in nochmals sieben Referate.

Das Amt für Landwirtschaft und Forsten Würzburg unterteilt sich -wie der Name schon sagt- in den Bereich Landwirtschaft und den Bereich Forstwirtschaft. Dem Bereich Landwirtschaft sind dabei 3 Abteilungen (Abt. L1 – Förderung, Abt. L2 – Beratung und Bildung, Abt. L3 – Strukturentwicklung und Haushaltsleistungen) unterstellt, der Forstverwaltung 2 Abteilungen (Abt. F1 – Forsten 1 und Abt. F2 – Forsten 2).

Bei dieser Diplomarbeit standen uns die Abt. L1 der Landwirtschaft und die Abt. F2 der Forstverwaltung beratend zur Seite.

2.3.2. Nutzung von Geobasisdaten in der Forstverwaltung / Landwirtschaftsverwaltung

Wie auch in anderen Bereichen, die sich mit Bestandsdatenaufzeichnung beschäftigen, stellen einheitliche Geobasisdaten den Grunddatenbestand her. Zu diesen Geobasisdaten zählen am ALF (Amt für Landwirtschaft und Forsten) die Digitale Flurkarte (DFK/ALK) sowie das Luftbild.

Dem Luftbild kommt dabei in der Abteilung L1 (Prüfdienst der Landwirtschaftsverwaltung) eine größere Bedeutung zu. Es dient zur Kontrolle der Feldstücke und wird jährlich ausgewertet. In der Abteilung F2. der Forstverwaltung hilft es einen Überblick über die aufzumessende Förderfläche zu verschaffen.

Die DFK hat am Amt für Landwirtschaft und Forsten folgende Funktion:

- Orientierungshilfe (Zum Auffinden des Flurstücks, auf dem sich die beantragte Förderfläche befindet.)
- Schnittberechnung zwischen verschiedenen Flurstücken (Eine Förderfläche darf nur auf einem einzigen Flurstück liegen.)
- Plausibilitätskontrolle (Größenvergleich mit der der Förderfläche, Kontrollmaß,...)
- DFK vertragsrechtlich von Bedeutung (D.h. aus welchen Flurstücken setzt sich das Feldstück zusammen? Desweiteren bildet die DFK eine Art Schnittstelle vom Amt zum Landwirtschaftlichen Betrieb.)

Aus den oben beschriebenen Punkten wird deutlich, dass bei GNSS-Messungen am ALF, die DFK eine untergeordnete Rolle spielt. Einzig bei der Schnittberechnung zwischen verschiedenen Flurstücken sind Auswirkungen, die DFK betreffend, von Bedeutung. Dabei wirken sich eventuell vorhandene Ungenauigkeiten der DFK sowie der GNSS-Messung auf die Fläche des Fördergebietes aus.

2.3.3. Festlegen von Förderflächen bei der Forstverwaltung

In den folgenden Abschnitten beschränken wir uns auf die Aufnahme/Kontrolle von Förderflächen mittels GNSS in der Forstverwaltung, da in der Landwirtschaftsverwaltung die gleiche Messmethode Anwendung findet. So kommt in der Landwirtschaftsverwaltung das gleiche Handheldgerät sowie der identische Korrekturdatendienst zum Einsatz. Weiterhin sind die Aufnahmebedingungen in der Landwirtschaft vorteilhafter, weil kaum Horizontabschattungen vorhanden sind, die das GNSS Signal beeinträchtigen.

2.3.3.1. Allgemeines

Ist in dieser Diplomarbeit von einem Fördergebiet die Rede, so handelt es sich um ein vom Land, Staat oder der EU gefördertes Waldstück. Förderungsfähige Flächen sind beispielsweise Erstaufforstungsflächen oder Waldgebiete, in denen eine selbstständige Naturverjüngung stattfindet [vgl. hierzu Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Richtlinie), 2007]. Zweck einer Förderung ist die nachhaltige Nutzung des Waldes (ökologische Nutzung). Ob die Bedingungen für ein förderungsfähiges Gebiet erfüllt sind, entscheidet der zuständige Revierförster. Bevor es jedoch zu einer Förderung eines solchen Gebietes kommt, muss der jeweilige Eigentümer einen Antrag stellen. Darauf folgend wird die beantragte Förderfläche aufgemessen, beziehungsweise auf ihre Lage und Größe hin überprüft/kontrolliert. Die Mindestförderfläche beträgt bei Neuaufforstung 0,1 Hektar in allen anderen Fällen 0,2 Hektar. Im Falle einer Naturverjüngungsförderfläche darf die Fläche eine Größe von fünf Hektar, welche die maximal förderungsfähige Fläche darstellt, nicht übersteigen. Die momentane Förderung je Hektar beträgt 1000 Euro [vgl. hierzu Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Anlage), 2007]. Eine Fläche kann nur einmal gefördert werden, wobei die Bindungsdauer der Förderung 5 Jahre beträgt (D.h. der Besitzer darf in diesem Zeitraum keine größeren Veränderungen an der Förderfläche vornehmen.)

Die Aufmessung, einer solchen förderungsfähigen Fläche, erfolgt mittels GNSS und dem Korrekturdatendienst BEACON. Erschwerend kommt hinzu, dass solch eine Aufmessung nicht unter optimalen Voraussetzungen geschieht. Vielmehr erfolgt diese im Wald, der mehr oder weniger stark das empfangende GNSS Signal oder auch den Korrekturdatenempfang beeinträchtigt.

Die Genauigkeitsschranke der aufzumessenen Punkte im Forst beträgt circa $\pm 1,5$ Meter [vgl. hierzu Bockenheimer, 2008]. D.h. es wird theoretisch sichergestellt, dass jeder gespeicherte Punkt nicht mehr als diese $\pm 1,5$ m von der wirklichen Position entfernt liegt. Diese theoretische Sicherstellung erfolgt unter anderem mittels Pdp sowie der Satellitenanzahl. So speichert das GNSS-Handheldgerät der Forstverwaltung dann einen Punkt ab, wenn der Pdp und auch die Satellitenanzahl einen vorgegebenen Wert nicht über- beziehungsweise unterschreitet. Befindet sich der aufzumessende Punkt jedoch an einer Position, an der zu keiner Zeit die theoretische Sicherstellung gewährleistet ist, so finden die im Abschnitt 2.3.3.5. beschriebenen Varianten Anwendung.

Nach der Aufmessung, beziehungsweise Überprüfung des Fördergebietes erfolgt die Auswertung im Innendienst, die unter Abschnitt 2.3.3.6., beschrieben ist. Ist Diese durchgeführt, erfolgt die Weitergabe der gewonnen Daten an denjenigen, der die Antragsunterlagen vervollständigt.

2.3.3.2. Verwendetes Instrumentarium

Das zur Aufmessung diverser Förderflächen verwendete Instrumentarium, beinhaltet einen GNSS-Handheldempfänger und dem dazu gehörigen Korrekturdatenempfänger. Im ALF wird das Handheldgerät GMS-2 sowie der BEACON-Korrekturdatenempfänger der Firma Topcon verwendet. Für diese Kombination entschied man sich nach eigens durchgeführten bayernweiten Tests. Das Handheldgerät wird im Kapitel 2.4.3., der Korrekturdatendienst im Abschnitt 2.3.2. im Teil A dieser Arbeit, behandelt.



Abb. 104: Topcon BEACON-Korrekturdatenempfänger

2.3.3.3. Messungsvorbereitung und Übernahme der Geobasisdaten auf den Handheldempfänger

An erster Stelle erfolgt die Anlage eines neuen Projektes (Betrieb). Anschließend werden die Geobasisdaten (DFK, Luftbild) von einem lokalen Rechner im shape-Format (.shp) in das Projekt übernommen. Nachdem wird diese VOK_Vorbereitung (Vor-Ort-Kontrolle-Vorbereitung) mit eGMS sync (Schnittstelle) auf das Handheldgerät übertragen.

2.3.3.4. Datenzugriff im Feld

Der Datenzugriff im Feld erfolgt in der Forstverwaltung über ein GIS-System, das von ESRI in Zusammenarbeit mit Topcon entstand. Es arbeitet folglich mit shape-Dateien (shp.) und trägt den Namen TopPad. Das Amt für Landwirtschaft und Forsten passte Dieses nochmals den geforderten Gegebenheiten an. So wurde, wie schon erwähnt, sichergestellt, dass eine Punktabspeicherung nur unter festgesetzten Voraussetzungen zustande kommt. Weiterhin wurde die Oberfläche des Programms anders gestaltet, sodass diese ein quantitatives wie auch qualitatives Arbeiten ermöglicht. Das Programm ermöglicht, wie in GIS-Systemen üblich, eine Layerstrukturierte Arbeitsweise beziehungsweise Anzeigereihenfolge. Dadurch können sowohl das Luftbild als auch die DFK zusammen angezeigt werden. Ferner sind verschiedene Aufnahmeoptionen für Punkte und Flächen möglich. Da mit dem Handheldgerät auch die Möglichkeit besteht Fotos aufzunehmen, können diese direkt mit den Daten im GIS verknüpft und dargestellt werden.

Insgesamt kann die Forstverwaltung -im Feld- nur auf Daten zugreifen, die vorher auf das Handheldgerät übernommen wurden. Somit ist vom „Feld“ aus kein Datenabgleich mit den „Zentral“ gespeicherten Daten möglich.

2.3.3.4.1. Differenzierung der Grenzen und Grenzpunkte

Unter der Differenzierung der Grenzen und Grenzpunkte versteht man die Unterscheidung hinsichtlich ihrer Art (Flurstücksgrenze, Nutzungsartengrenze) sowie deren Genauigkeit (digitalisiert, gerechnet, etc.) und anderer Angaben (Stand, geändert am, etc.). Der Sinn und Zweck einer solchen Differenzierung ist unter anderem eine unterschiedliche Darstellungsweise im GIS. Folglich ist auch eine visuelle Trennung in unterschiedliche Genauigkeitsklassen (d-Koordinate, g-Koordinate) möglich.

Eine „Differenzierung und somit konkrete Aussage über die „Gewichtung „ der Grenzpunkte ist derzeit im GIS System nicht gegeben“ [vgl. hierzu Greiner, 2009].

Die Differenzierung im GIS des ALF wäre von großem Vorteil. Hiermit ließen sich „graphische“ Grenzen auch als solche darstellen (gestrichelt). Somit ist auf den ersten Blick ersichtlich um was für eine Grenze (Genauigkeit) es sich handelt. Dadurch ist auch eine bessere Beurteilung der Plausibilität bezüglich der GNSS-Messung gegeben.

2.3.3.5. Aufnahme der Förderflächen

Die Aufnahme der Förderfläche erfolgt durch Einzelpunkte. Folglich werden die Eckpunkte der Fläche aufgenommen. Die Grenzen der Förderfläche können theoretisch identisch mit der der DFK sein.

Die Messung der Punkte erfolgt automatisch nach Auslösen durch "Knopfdruck", wenn deren Genauigkeit innerhalb der im Kapitel 3.1 genannten Grenzwerte liegt. Ist es auf Grund einer schlechten Satellitenkonstellation/-anzahl oder Beeinträchtigung des Korrekturdatensignals durch Abschattung nicht möglich, Punkte innerhalb dieser Genauigkeit zu messen, wird die Position des Gerätes nicht geändert und ein und derselbe Punkt mehrfach gemessen. Nach zweimaliger Punktbestimmung erfolgt ein Lagevergleich dieser Punkte, liegen diese Punkte nah beieinander und in Übereinstimmung zur DFK (Plausibilitätskontrolle), bedeutet das, dass die Position kontrolliert ist und einer dieser Punkte für die Bildung der Fläche verwendet wird. Ist dies nicht der Fall, findet eine weitere Punktbestimmung statt. Der Punkt, mit der größten Plausibilität zur DFK wird im folgenden gespeichert. Die übrigen zwei Punkte werden verworfen. Die Genauigkeit solcher Punkte ist demnach stark von dem, zur Zeit der Aufzeichnung, empfangenen GNSS-Signal sowie der DFK abhängig.

Tritt der seltene Fall ein, das zu keiner Zeit GNSS im befindlichen Gebiet vorhanden ist, so erfolgt die Aufmessung der Förderfläche mittels Kompass oder Bussole (Kompass mit Peilvorrichtung), Handgefällmesser (ab 5° Neigung) und Distanzmessgerät (z.B. Bandmaß, Fadenmessgerät, Laserdistanzmesser oder Ultraschallmessgerät). Es ist ersichtlich, das diese Bestimmung (im Wald!) in Ihrer Genauigkeit weitaus geringer ist, als die mittels GNSS-Handheldmessung.

Im Anschluss an die Messung findet eine Kennzeichnung der Förderfläche in der Natur, durch die Markierung des zum Eckpunkt nächstgelegenen Baumes statt.

Die Verbindung der aufgenommenen Eckpunkte erfolgt im „Feld“ durch Linien zu einer Fläche. Anschließend ist die Abfrage der Größe der Förderfläche möglich.

2.3.3.6. Auswertung der Aufnahme

Nach der Speicherung des Betriebes (Projektes) auf dem Gerät erfolgt die Übertragung der Daten (VOK_Ergebnis) auf den Bürorechner mit der Software eGMS sync. Die Übertragung erfolgt im shape-Format. Im folgenden findet eine Überprüfung der Aufnahme mit Hilfe des Betrachtungsprogrammes eShape Viewer, das von Topcon und dem Amt für Landwirtschaft und Forsten entwickelt wurde, statt. Zur Dokumentationszwecken wird das Messergebnis geplottet. Daraufhin erfolgt der Import des Ergebnisses in LaFIS, dem Landwirtschaftlichen Flächeninformationssystem, wo eine weitere Bearbeitung (z.B. wegnehmen von Schnittflächen mit geringer Größe die aus DFK und Aufnahme resultieren) erfolgen kann. Ist die Bearbeitung abgeschlossen, wird das VOK_Ergebnis an denjenigen übermittelt, der für die weitere Antragsabwicklung zuständig ist.

3. Anforderungen an die Aufmessung der Förderflächen (Bedarfsanalyse)

3.1. Genauigkeit/ Zuverlässigkeit

Die Genauigkeit der Aufnahme sollte innerhalb einer Schranke von $\pm 1,5$ Metern liegen. Um dies zu erreichen, wird die Punktaufnahme durch eine „Ampelschaltung“ gesteuert. Das bedeutet, die Punkte werden nur gespeichert, wenn bestimmte „Rahmenvorgaben“ erfüllt sind. Diese Rahmenvorgaben gliedern sich in Stufe 1 und „Rückfallebene“. In der Stufe I ist festgelegt, dass die Punktspeicherung ab einem P_{dop} $\leq 4,5$ sowie einer Satellitenanzahl ≥ 6 erfolgt.

Werden die Werte der Stufe 1 überschritten (P_{dop}) beziehungsweise unterschritten (Satellitenanzahl), so versetzt die Software den Aufzeichnenmodus in die „Rückfallebene“. Das bedeutet das die Grenzwerte anders gewichtet werden. Somit erhöhen (P_{dop}) bzw. verringern (Satellitenanzahl) sich diese. In diesem Fall muss die „Fachkraft“ entscheiden, ob eine Punktspeicherung erfolgen soll und diese nachträglich auf Plausibilität hin prüfen.

Die Ampelschaltungsparameter im Detail können aus urheberrechtlichen Gründen an Dritte nicht herausgegeben werden und diesbezüglich in dieser Diplomarbeit auch nicht aufgeführt werden [vgl. hierzu Greiner, 2009].

3.2. Anforderungen an die Geobasisdaten

Das Amt für Landwirtschaft und Forsten bezieht die Geobasisdaten von der bayerischen Vermessungsverwaltung. Die Geobasisdaten umfassen in diesem Fall die DFK sowie das Luftbild. Die DFK wird einmal jährlich als Shapefile, das aus den Dateien shp (Geometriedaten), dpf (Sachdaten) und shx (Indexinformationen) besteht, übergeben. Das Luftbild ist Verwaltungsaktuell (d.h. es besitzt die Aktualität der Daten der Vermessungsverwaltung (Befliegungsrhythmus)) und besitzt als jgw (georeferenziertes JPEG-Bild) eine Auflösung von maximal 40 x 40 Zentimeter. Die Anforderungen an das Luftbild in der Abteilung L2 (Prüfdienst der Landwirtschaft) sind deutlich größer als die in der Abteilung F2 (Forstverwaltung), da hiermit die Feldstückskontrolle erfolgt. Aus diesem Grund bezieht die Landwirtschaftsverwaltung jährlich eine Luftbildauswertung der GAF AG, die RGB-, Infrarot- und Falschfarbenbilder mit einer Auflösung von 1 x 1 m umfasst. Die übermittelten Geobasisdaten sollten möglichst fehlerfrei sein.

3.2.1. Probleme, die sich aus fehlerhafter DFK ergeben

Da die DFK im Wald oft Unstimmigkeiten von mehreren Metern aufweist, ergeben sich bei der Messung von Förderflächen oft Grenzüberschreitungen. Man geht deshalb davon aus, dass die gemessene Förderfläche bei Einhaltung der eingestellten Grenzwerte (Genauigkeitsschranke) genauer gemessen wird, als es die DFK ist. Ob diese Theorie stimmt, ist schwer zu beurteilen, da die DFK in der Forstverwaltung keine Differenzierung der Grenzpunkte/Grenzen (g- oder d-Koordinaten) aufweist. Aus diesem Grund erfolgt im Abschnitt 5. und 6. eine Analyse der Genauigkeit/Gerechtigkeit der GNSS-Messung/Förderflächenermittlung im Vergleich zur DFK.

In einem Telefonat mit Herrn Greiner, wurde uns mitgeteilt, dass beispielsweise zwei Flurkarten aus unterschiedlichen Jahrgängen eine Abweichung von circa 3 Metern im selben Gebiet (Raum Regensburg) vorwiesen, ohne dass sich Veränderungen in der Örtlichkeit zugetragen haben. Grund hierfür sei das Verschieben von Abweichungen der Flurkarte (DFK) in die Waldgebiete (z.B. bei Flurbereinigungen und Katasterneuvermessungen). Dies führt zwangsweise zu einer Unglaubwürdigkeit der DFK im Wald, vor allem unter den betreffenden Förstern.

4. Untersuchung zur Einhaltung der beschriebenen Anforderungen

Die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen theoretischen Aspekte sollen im Folgenden einem Praxistest unterzogen werden. Dazu ist ein Testgebiet nötig, das realistische Bedingungen aufweist. Desweiteren muss die Messung als auch die Auswertung mit der gleichen Geräte-/ Softwarekombination stattfinden, welche auch bei der Forstverwaltung zur Anwendung kommt.

Als Vergleichsgrundlage dient eine Messung mittels geodätischen GNSS und Tachymeter. Diese Messung weist eine Genauigkeit im Zentimeterbereich auf. Somit ist diese, im Vergleich zu der in der Forstverwaltung, bei der die Genauigkeit bestenfalls im Submeterbereich liegt, als fehlerfrei anzusehen. Auch zur kleinräumigen Genauigkeitsuntersuchung der DFK, im Bereich der Testgebiete, wird diese Messung herangezogen.

4.1. Gebietsauswahl

4.1.1. Anforderungen an die Untersuchungsgebiete

Um die Zuverlässigkeit der Genauigkeitsuntersuchung zu erhöhen, fiel die Wahl auf insgesamt zwei Testgebiete. Die Anforderungen an diese war ein mehr oder weniger starker Bewuchs, gute Erreichbarkeit und das Vorhandensein von digitalisierten Flurstücksgrenzen (im Folgenden als „graphisches“ Kataster bezeichnet). Weiterhin musste sichergestellt sein, dass sich Grenzsteine in den Gebieten befinden, um eine Genauigkeitsaussage über die vorhandene DFK zu treffen.

4.1.2. Beschreibung der Untersuchungsgebiete

Die zwei Testgebiete befinden sich im Großraum Würzburg. Eines liegt in der Gemarkung Güntersleben, das Andere in der Gemarkung Erlach.

Das Gebiet in Güntersleben befindet sich in der Nähe eines Campingplatzes (FKK), in ungefähr 1,5 km Entfernung zur Ortschaft (vgl. hierzu Abb. 105). Das Gelände weist ein leichtes bis mäßiges Gefälle in Richtung Norden und Osten auf. Der Bewuchs umfasst Hochwald, der zum größten Teil aus Buchen und einzelnen Fichten sowie Kiefern besteht. Hinzu kommt ein nachhaltiger Bewuchs mit Jungbäumen, ebenfalls Buchen (vgl. hierzu Abb. 106).

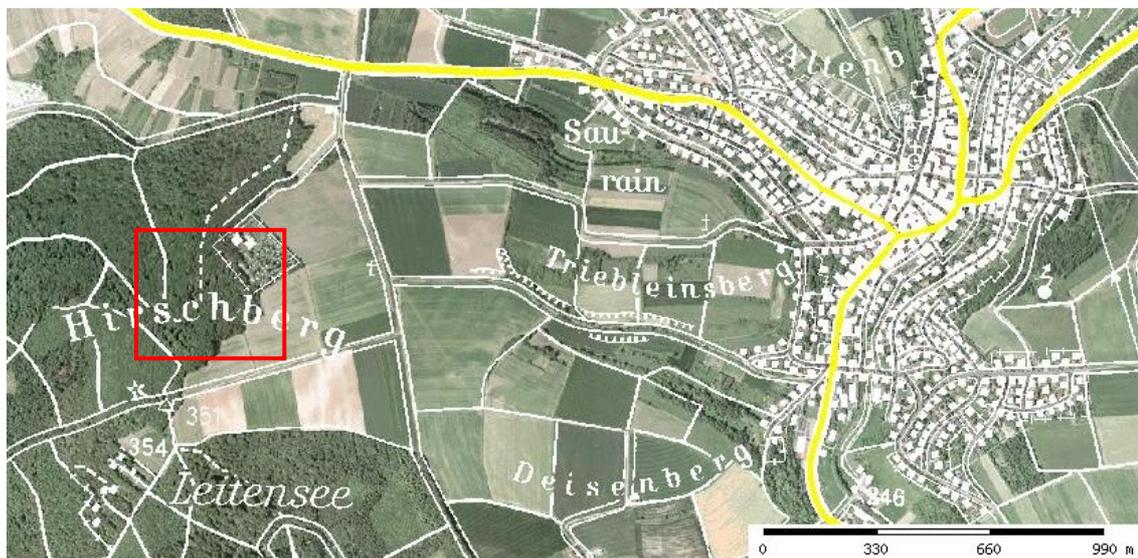


Abb. 105: Gebietsübersicht von Güntersleben



Abb. 106: Bewuchs des Messgebietes in Güntersleben

Das zweite Gebiet liegt in der Nähe eines ehemaligen Truppenübungsplatzes der US-Armee, in circa 3 km Entfernung von Erlach (vgl. hierzu Abb. 107). Das Gelände ist eben. Der Bewuchs besteht hier hauptsächlich aus Eichen und vereinzelt Eschen. Darüber hinaus ist der vorhandene Mittelwald stark mit Büschen durchsetzt. Hierbei handelt es sich überwiegend um Haselnuss und Holunder (vgl. hierzu Abb. 108).



Abb. 107: Gebietsübersicht von Erlach



Abb. 108: Bewuchs des Messgebietes in Erlach

In den beschriebenen Gebieten sind hinreichend alte Grenzsteine vorhanden. Somit ist eine kleinräumige Genauigkeitsaussage über die DFK, in beiden Fällen, möglich.

4.2. Vorbereitung

4.2.1. Lösungsansatz

In diesem Teil geht es primär darum die Genauigkeit einer aufgenommenen Förderfläche, die verschiedene Flurstücke überdeckt, in Bezug auf die Genauigkeit der Flurkarte im Wald und hinsichtlich der Genauigkeit der GNSS-Handheldmessung zu ermitteln. Dafür werden „graphische“ Grenzen der betreffenden Flurstücke tachymetrisch bestimmt. Hieraus resultiert ein möglicher Vergleich zwischen graphischen Kataster (digitalisierte Grenze) und numerischen Kataster (Grenze gerechnet).

Anschließend wird die Förderfläche mittels GNSS-Handheldgerät der Forstverwaltung sowie mit tachymetrischer Aufnahme bestimmt.

Nach dieser Aufnahme können die aufgenommen Punkte der GNSS-Handheldmessung den örtlich aufgenommenen Punkten (tachymetrisch bestimmt) gegenübergestellt und miteinander verglichen werden.

Weiterhin wird ermittelt, welchen Einfluss die graphischen Grenzen der Flurkarte, die GNSS-Handheldmessung und das Zusammenspiel beider Einflüsse auf die Förderflächen bewirken.

4.2.2. Zusammenstellung der benötigten Unterlagen

Die Auswahl der benötigten Unterlagen erfolgte am Vermessungsamt Würzburg. Es wurden folgende Dokumente zusammengestellt:

- Die digitale Flurkarte des jeweiligen Gebietes in Form einer dxf-Datei
- Katasterfestpunktübersichten der Gebiete mit den Festpunkten für die tachymetrische Koordinierung der graphischen Grenzen sowie der Förderflächen
- Koordinaten der Katasterfestpunkte
- Kopien der Risse von vorhergehenden Messungen in der Nähe beider Gebiete

Desweiteren wurden zwei fiktive Projekte am ALF angelegt und auf das GNSS-Handheldgerät übertragen.

Die jeweiligen Unterlagen befinden sich im Anhang.

4.2.3. Erkundung der Untersuchungsgebiete

In den beiden Gebieten wurden die Flurstücke, auf das Vorhandensein alter Grenzsteine hin, erkundet. Zum Aufsuchen der Grenzsteine diente das GNSS-Handheldgerät Trimble GeoXT. Die vorgefundenen Grenzsteine wurden in einer Übersichtskarte festgehalten (vgl. Abb. 109 und 110).

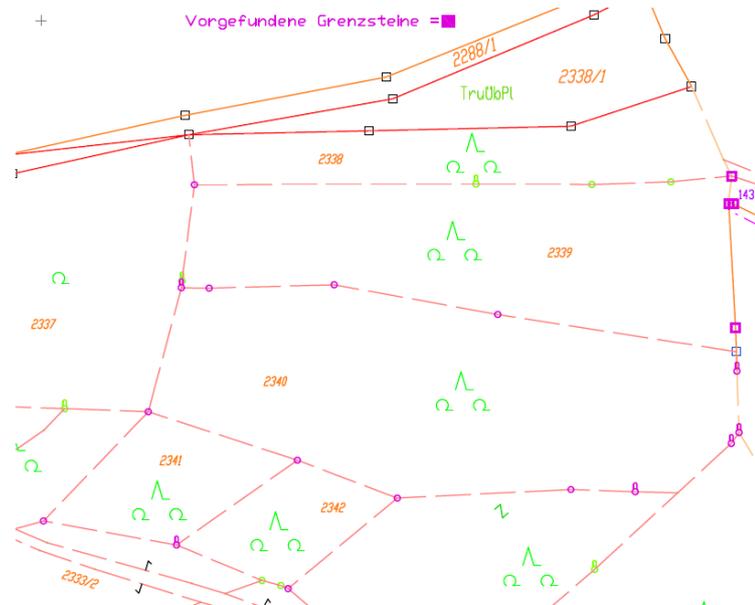


Abb. 109: Vorgefundene Grenzsteine in Erlach

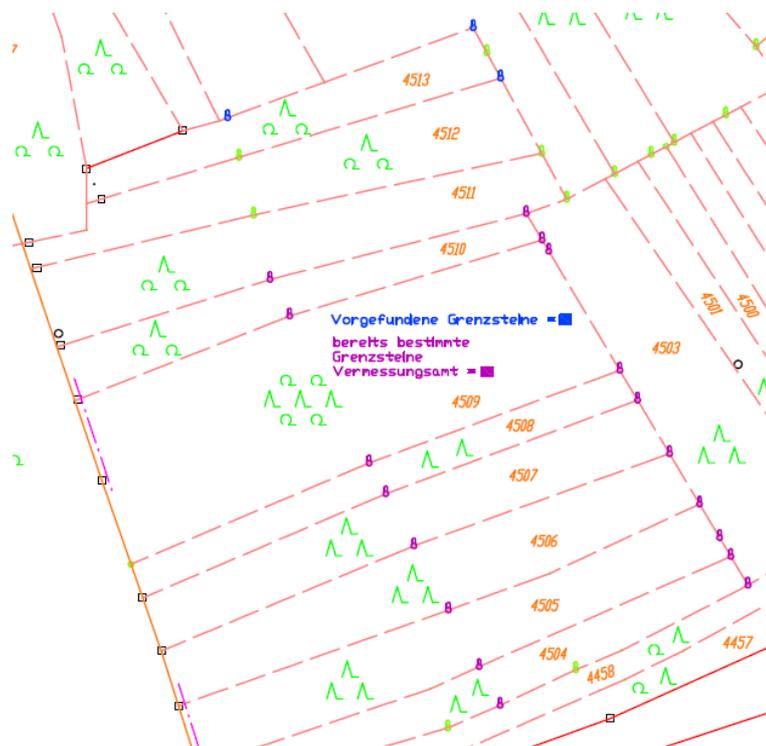


Abb. 110: Grenzsteine in Gütersleben

Darüberhinaus wurden die Katasterfestpunkte auf deren Existenz hin überprüft. Die Katasterfestpunkte in Erlach wurden mittels geodätischen GNSS abgesteckt, aber nicht aufgefunden. Es ist zu vermuten, dass diese dem Wegebau zum Opfer fielen. In Güntersleben hingegen konnten sämtliche Katasterfestpunkte aufgedeckt werden.

4.3. Messungsdurchführung

An dieser Stelle muss bemerkt werden, dass zur Zeit der Aufnahme keine Belaubung vorhanden war. Theoretisch lagen somit günstigere Bedingungen für die GNSS-Handheldmessung vor.

In dem Testgebiet nahe Güntersleben erfolgte die Bestimmung der digitalisierten graphischen Karte bereits im Mai 2008 von Seiten des Vermessungsamtes Würzburg, weswegen nur eine Punktbestimmung von insgesamt 3 weiteren Grenzsteinen nötig war (vgl. hierzu Abb. 110). Das Vermessungsamt stellte uns für die Untersuchung den jeweils alten und neuen Stand der DFK zur Verfügung. Somit musste der neue Stand nur um diese 3, von uns aufgenommenen, Grenzsteine, erweitert werden.

4.3.1. Verwendetes Instrumentarium

Zu dem verwendeten Instrumenten zählen das Handheldgerät Topcon GMS-2 sowie der dazugehörige BEACON-Korrekturdatenempfänger. Beide Geräte wurden von der Forstverwaltung bereitgestellt. Außerdem wurde ein Tachymeter 3603, ein geodätischer GNSS-Empfänger 5800 und das Handheldgerät GeoXT verwendet. Alle drei genannten Geräte sind von der Firma Trimble und wurden von der FH-Würzburg-Schweinfurt zur Verfügung gestellt.

4.3.2. Netzverdichtung mittels GNSS

Um die vorhandenen Grenzpunkte der Testgebiete zu koordinieren, war es nötig, Festpunkte im Landessystem zu schaffen, von denen aus die Koordinierung erfolgen konnte. Diese Netzverdichtung mittels GNSS war nur in Erlach vonnöten, da in Güntersleben bereits ausreichend Anschlusspunkte (Festpunkte) für die weitere Messung vorhanden waren.

In Erlach wurden insgesamt 4 Festpunkte (1, 2, 3 und 4) (vgl. hierzu Abb.111) geschaffen, an denen sich der weitere Messablauf orientierte. Die Bestimmung dieser Festpunkte erfolgte mit dem GNSS-Empfänger 5800. Die Beobachtungszeit pro Punkt betrug 120 Sekunden, wobei jede Sekunde eine Position aufgezeichnet wurde. Die sich ergebenden X, Y, Z-Koordinaten der Punkte, wurden unter Zuhilfenahme der Bayern 12 Transformation, vorläufig, in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem überführt.

Um die Nachbarschaftstreue zu den, in dem Gebiet, vorhandenen Festpunkten zu wahren, wurden die 4 Punkte anschließend durch eine 2D-Helmert-Transformation in das GK-System der umliegenden Festpunkte transformiert. Die Bestimmung der dafür erforderlichen Transformationsparameter, erfolgte mit 4 Passpunkten, die die neu zu bestimmenden Festpunkte gut umschlossen (vgl. hierzu Abschnitt 4.4.1.).

4.3.3. Tachymetrische Punktbestimmung

In Güntersleben konnte direkt mit der Aufnahme der kartenidentischen Punkte begonnen werden, da die nötigen Anschlusspunkte direkt im Messgebiet lagen.

Die von uns, mit GNSS, bestimmten Anschlusspunkte in Erlach lagen jedoch zu weit vom eigentlichen Messgebiet entfernt. Hier musste ein Polygonzug von Punkt 1 zu Punkt 2 gelegt werden. Dabei handelt es sich um einen Offenen Polygonzug mit beidseitigen Koordinaten- und Richtungsanschluss. Die Fernziele (3 und 4) waren auf dem Startpunkt und Endpunkt des Zuges, die Selben (vgl. hierzu Abb. 111). Der Polygonzug bildete die Grundlage für die Aufmessung der kartenidentischen Punkte, die im Anschluss beschrieben wird. Die Berechnung befindet sich im Anhang.



Abb. 111: Skizze vom Polygonzug in Erlach

4.3.3.1. Aufnahme der kartenidentischen Punkte

Die Aufnahme der kartenidentischen Punkte in Güntersleben erfolgte mittels „freier Stationierung“ über die vorhandenen Anschlusspunkte. Zur Kontrolle der Aufnahme wurden die Punkte von einem weiteren „freien Standpunkt“ aus koordiniert.



Abb. 112: Beispiel für einen kartenidentischen Punkt, hier Grenzstein 50015 in Erlach

Anders in Erlach, hier fand die Aufnahme der Grenzsteine zusammen mit der Polygonzugmessung statt. D.h. es wurde nicht nur die Polygonzugmessung an sich durchgeführt. Die vom jeweiligen Polygonpunkt sichtbaren kartenidentischen Punkte wurden als „Seitenblicke“ mit koordiniert. Sofern es realisierbar war, wurde die Koordinierung von einem andern Polygonpunkt aus kontrolliert. Bei einigen Punkten war dies durch den dichten Bewuchs jedoch nicht möglich. Diese wurden von nur einem Polygonpunkt in zwei Fernrohrlagen angemessen, wobei die Messung in Fernrohrlage 2 indirekt erfolgte. Somit sind auch diese Punkte kontrolliert.

4.3.3.2. Aufmessung der fiktiven Förderfläche mittels Tachymeter

Vor der eigentlichen Aufnahme wurden die Eckpunkte des Fördergebietes mit Holzpfehlen vermarktet. Die Aufmessung der Eckpunkte entspricht im Wesentlichen der kartenidentischen Punkte.

4.3.4. Aufnahme der fiktiven Förderfläche mittels Instrumentarium der Forstverwaltung

Bei der Aufmessung unter Verwendung des Handheldgerätes wurde darauf geachtet, dass dieses möglichst zentrisch und ruhig über die jeweiligen Eckpunkte der Förderfläche gehalten wurde. So wurden nacheinander alle Eckpunkte mittels „Knopfdruck“ und abwarten der Punktspeicherung koordiniert. Anschließend wurden die Eckpunkte durch Linien zu einer Fläche verbunden.

4.4. Auswertung

4.4.1. GNSS

Da die Bestimmung der Anschlusspunkte für den Polygonzug in Erlach mit dem länderspezifischen Bayern 12 Transformationsmodul zum Übergang vom WGS 84-Ellipsoid zum Bessel-Ellipsoid (GK) erfolgte, musste zur lokalen Einpassung in das amtliche GK-System eine Transformation gerechnet werden. Diese wurde mit der Software Leica Geomatics Office (LGO) durchgeführt. Zur Durchführung der Transformation (1 Schritt Transformation/2D Helmert) wurden zwei Projekte angelegt. In das eine Projekt wurden die X, Y, Z (WGS 84) Koordinaten (Ausgangssystem), der übergeordneten Katasterfestpunkte und der zu bestimmenden Anschlusspunkte aus der geodätischen GNSS-Messung importiert. In dem anderen Projekt wurden die GK-Koordinaten (Zielsystem) der übergeordneten Katasterfestpunkte eingelesen. Danach erfolgte die Berechnung der Transformation, durch die Auswahl der Projekte (Ausgangs- und Zielsystem) und durch die Zuordnung der identischen Passpunkte. Die Residuen (Restklaffen) der Passpunkte der Transformation beliefen sich auf:

Restklaffen				
System A	System B	Punkttyp	dO [m]	dN [m]
0001 (2)	0001	Lage	0.0126 m	0.0113 m
6000 (2)	6000	Lage	0.0367 m	-0.0148 m
6701 (2)	6701	Lage	-0.0388 m	0.0006 m
7082 (2)	7082	Lage	-0.0105 m	0.0029 m

Tabelle 29: Restklaffen der lokalen Einpassung durch Transformation

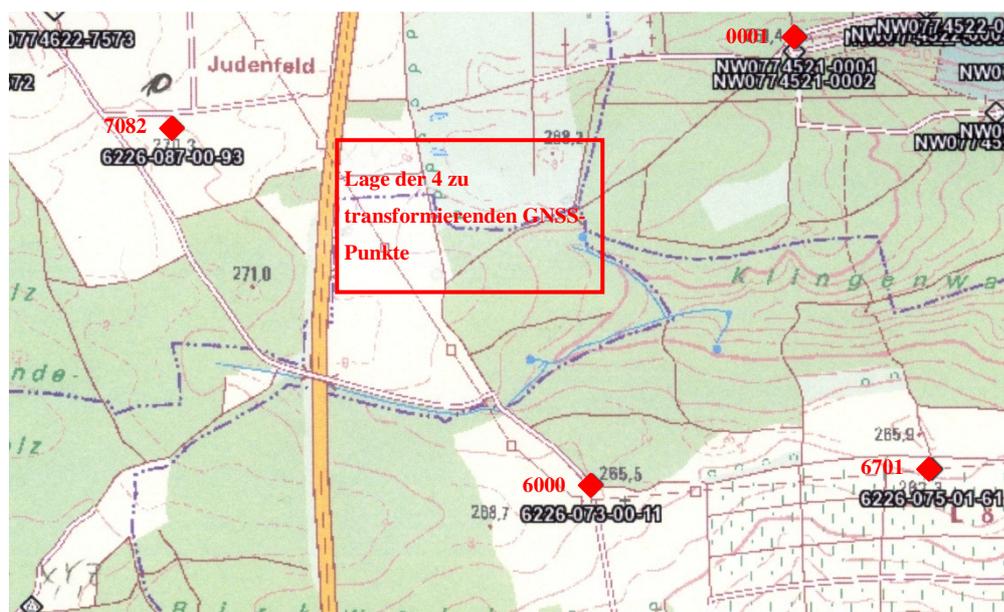


Abb. 113: Lage der 4 Passpunkte die zur Transformation der 4 GNSS-Punkte dienen

Rechtswertfehler (fy):	- 0,013 m
Hochwertfehler (fx):	- 0,010 m
Brechungswinkelfehler (fB):	- 0,0110 gon
Streckenfehler (fs):	0,017 m
Längsfehler (fL):	- 0,016 m
Querfehler (fQ):	0,002 m

Die Koordinierung der aufgenommenen Grenzpunkte erfolgte mittels Polarpunktberechnung. Dazu wurde eine klassische Orientierung (Abriss) verwendet. Die Ergebnisse der Berechnungen sind im Anhang festgehalten. Die Koordinaten der neu koordinierten Grenzpunkte wurden als csv- und dxf-Datei exportiert.

Die aufgenommenen Grenzpunkte wurden mit Hilfe der Risse, sofern diese vorhanden waren, auf deren Identität (Spannmaßkontrollen) geprüft.

4.4.3. Topcon GMS-2

Die Auswertung der Topcon GMS-2 Messungen erfolgte analog zu Kapitel 2.3.3.6. Natürlich wurden die, in unserem Fall fiktiven Messungen, nicht in das LAFIS übernommen.

Zusätzlich wurde die Shape-Datei der Aufnahmen im Programm Trimble GPS Pathfinder Office eingelesen und als dxf-Dateien, zur weiteren Bearbeitung, ausgegeben.

4.4.4. Durchführung der zur Genauigkeitsuntersuchung benötigten Transformationen

Auch die nötigen Transformationen (Affin und Helmert) wurden mit dem Programm Caplan durchgeführt. Hierfür wurden zwei Projekte, eines mit den Punkten im Zielsystem und eines mit den Punkten im Ausgangssystem, angelegt. Danach erfolgte die jeweilige Transformation über die von uns aufgenommenen Passpunkte. Die Ergebnisse (Restklaffen) der Transformationen werden im Kapitel 5. behandelt. Die Restklaffen der Transformationen wurden mit Hilfe von Caplan graphisch dargestellt (Punktvergleich).

5. Beurteilung der erreichten Genauigkeit

5.1. Vorbetrachtung

Um eine Genauigkeitsaussage über die digitale Flurkarte (DFK) und die GNSS-Handheldmessung zu treffen, sind einige Vorüberlegungen nötig. So stellt sich die Frage, mit was für einer Genauigkeit der DFK und der GNSS-Handheldmessung gerechnet werden kann. Um diese Frage zu beantworten, ist eine Fehlerbetrachtung unerlässlich. Im Fortgang der Diplomarbeit, dient diese Vorüberlegung zur Ergebniseinordnung.

Fehlerbetrachtung der Flurkarte [Größenordnung der Fehler, vgl. hierzu Glasner, 2001]:

An dieser Stelle werden Fehlereinflüsse genannt, welche die Genauigkeit der bayerischen Flurkarte, von der ersten Aufnahme bis zum heutigen Stand der digitalen Flurkarte (DFK), maßgeblich mitbestimmen. Diese Aufstellung nennt die wichtigsten Fehlereinflüsse. Eine detaillierte vollständige Aufstellung aller Fehlereinflüsse ist nicht Bestandteil dieser Diplomarbeit.

- Einfluss des Haupt- und Sekundärnetzes

Die bayerische Flurkarte stützt sich auf ein Hauptdreiecksnetz (I-Ordnung), das in homogenen Teilbereichen mittlere Fehler zwischen ± 35 cm und ± 44 cm aufweist. Punkte, die innerhalb homogener Messbereiche des Sekundärnetzes (II-Ordnung) liegen, haben eine Lageunsicherheit von $\pm 4,2$ cm, wobei die Spannungen zwischen inhomogenen Netzteilen des Sekundärnetzes im Mittel ± 30 cm betragen. Damit liegen die Fehler innerhalb der Zeichengenauigkeit der Flurkarte im Maßstab 1:5000 und können somit vernachlässigt werden.

- Einfluss des Flurnetzes

Da das Haupt- und Sekundärnetz zu „weitmaschig“ ist, war eine Verdichtung nötig, die hauptsächlich durch graphisches Vorwärtseinschneiden realisiert wurde. Der sich dadurch ergebende Punktfehler ist wesentlich vom Schnittwinkel und den Seitenlängen der genutzten Passpunkte abhängig und beträgt im ungünstigsten Fall 4,4 m. Hinzu kommt der Fehler von der Übertragung dieser Flurnetzpunkte vom Maßstab 1:10 000 auf 1:5000. Somit beträgt dieser nun ± 5 m im ungünstigsten Fall. Erfolgte das Vorwärtseinschneiden bereits im Maßstab 1:5000, halbiert sich der oben genannte Fehler, infolge des doppelt so großen Maßstabes und den daraus resultierenden halb so großen Winkelfehlern. Da auch die Unsicherheit der Übertragung entfällt, kann im ungünstigsten Fall mit einem Fehler von $\pm 2,2$ m gerechnet werden.

- Einfluss der Detailaufnahme (Messtischaufnahme) und der Gravur

Die Genauigkeit der graphischen Detailaufnahme ist von mehreren Faktoren abhängig. Zu den maßgeblichen Faktoren zählen die Aufnahmegenauigkeit, die Genauigkeit der Kartierung, die Genauigkeit der Übertragung auf den Lithographiestein sowie dessen Gravur und der Abgreifgenauigkeit mit der dies erfolgte.

Der mittlere Fehler der Kartierung sowie die Abgreifgenauigkeit kann mit jeweils $\pm 0,07$ mm angesetzt werden. Ebenso groß ist der Fehler, der bei der Übertragung auf den Lithographiestein sowie dessen Gravur zustande kommt. Da diese drei genannten Fehler unabhängig von anderen sind, ergibt sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ein konstanter Fehleranteil für Flurkarten. Dieser konstante Fehleranteil m_K beträgt für Flurkarten im Maßstab 1:5000:

$$m_K = \pm\sqrt{3} * 0,00007m * 5000 = \pm 0,6m$$

Genauigkeit Rayonmessung (Rayonmessung=Aufmessung von einem Messtischstandort aus)

Zu diesem konstanten Fehleranteil m_k , kommen die Fehler dazu, die bei der damaligen Aufnahme entstanden. Somit ergibt sich der mittlere Punktfehler m_p aus:

$$m_p = \pm \sqrt{m_L^2 + m_R^2 + m_K^2}$$

m_L = der mittlere Fehler der Längenmessung

m_R = der Einfluß des mittleren Richtungsfehlers auf die Punktlage

m_k = konstanter Fehleranteil, der sich als Körtierungs-, Übertragung-, Gravier- und Abgreiffehler ergibt

Sind die aufgenommenen Punkte alle von einem Standpunkt aufgemessen (Rayonmessung), so ergeben sich je nach örtlichen Gegebenheiten mittlere Punktfehler zwischen $\pm 0,6$ m und $\pm 1,8$ m.

Genauigkeit Messtischpolygonzüge (Waldgebiet)

Dabei handelt es sich um fortlaufend polar angehängte Messtischstandorte. Die mittleren Punktfehler ergeben sich je nach Zugart und Polygonzuglänge.

Nach der Genauigkeitsuntersuchung von TH. BOSCH, kann bei der Detailaufnahme und Gravur von folgenden Werten ausgegangen werden:

Für Flurkarten, die zwischen 1812 und 1826 entstanden, kann innerhalb homogener Bereiche von einem mittleren Punktfehler zwischen $\pm 0,8$ m und $\pm 3,0$ m ausgegangen werden (im Mittel $\pm 1,6$ m).

Bei Flurkarten, die von 1826 bis 1864 entstanden liegt der mittlere Punktfehler zwischen **$\pm 0,5$ m und $\pm 1,8$ m (im Mittel $\pm 1,1$ m).**

Diese Werte sind stark von der Sorgfalt der damaligen Messung abhängig.

- Einfluss von Kartenerneuerungen / Fortführung

Es ist davon auszugehen, dass bei jeder Kartenfortführung, trotz Einhaltung aller Kriterien (Passpunktauswahl, Interpolation, Nachbarschaft, etc.), eine Verschlechterung der Homogenität sowie der Genauigkeit zu erwarten ist. Dies ist auch auf eine eventuell vorhandene Deformation des Zeichenträgers zurückzuführen.

Bei der analogen Kartenfortführung geht man von einer Kartiergenauigkeit (maximaler linearer Punktfehler) von $\pm 0,2$ mm aus, was dem dreifachen des Kartierfehlers ($\pm 0,07$ mm) entspricht. Weiterhin kommt dem Maßstab der Karte eine wichtige Bedeutung zu. Je größer dieser Maßstab umso genauer lässt sich die Flurkarte fortführen.

- Einfluss der Digitalisierung (analoge Karte \longrightarrow digitale Karte)

Die Genauigkeit der Digitalisierung ist zum einen technisch zum anderen durch den Operateur bedingt. Je nach Digitalisier-Hardware und Erfahrung sowie Sorgfalt des Operators ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse. Jedoch kann der mittlere Punktfehler der Digitalisierung mit $\pm 0,07$ mm angenommen werden. D.h. bei einer digitalisierten Karte im Maßstab 1:5000 beträgt der mittlere Punktfehler somit $\pm 0,35$ m.

Im Folgenden wird demnach von einem mittleren Punktfehler (Wert von TH. BOSCH + Einfluss der Digitalisierung) der graphischen Karte von $\pm 0,5$ m bis $\pm 2,2$ m (im Mittel $\pm 1,4$ m) ausgegangen.

Fehlerbetrachtung der GNSS-Handheldmessung:

Ein GNSS-Signal wird unter Umständen stark beeinflusst. Laut Amt für Landwirtschaft und Forsten, ist gewährleistet, dass mit den vorgenommenen Einstellungen eine Fehlerschranke von circa $\pm 1,5$ m nicht überschritten wird. Die Untersuchungen in Teil A zeigen, dass dieser Wert nur zu circa 50 % erreicht wurde (jedoch mit Trimble GeoXT in Verbindung mit BEACON anstatt des Topcon GMS-2). Die von uns ermittelte Standardabweichung im Wald (ohne Belaubung), mit der zuvor genannten Gerätekombination, liegt bei $\pm 3,35$ m (vgl. hierzu Teil A dieser DA). Aus diesem Grund gehen wir davon aus, dass die Fehlerschranke der Forstverwaltung um das 2 bis 3-fache über ihren eigentlichen Wert liegt (somit ± 3 m bis $\pm 4,5$ m).

Fehlerbetrachtung der Tachymetermessung (Vergleichsmessung)

Bei den tachymetrisch aufgenommenen Punkten kann von einer hohen Punktgenauigkeit und somit für die Untersuchung ausreichend genau bestimmten Absolutkoordinaten ausgegangen werden. Der mittlere Punktfehler m_p , eines mit dem Tachymeter 3603 bestimmten Punktes lässt sich nach folgender Formel berechnen.

$$m_q = \pm \sqrt{\frac{1}{2} m_z^2 + \left(\frac{D \times m_r \times \sqrt{2}}{\rho} \right)^2}$$

$$m_l = \pm \sqrt{\frac{1}{2} m_z^2 + m_D^2}$$

$$m_p = \pm \sqrt{m_q^2 + m_l^2}$$

m_q = mittlerer Querfehler

m_l = mittlerer Längsfehler

m_z = mittlerer Zentrierfehler

m_r = mittlerer Richtungsfehler

m_D = mittlerer Streckenfehler

m_p = mittlerer Punktfehler

D = Entfernung

Nimmt man für m_z einen Wert von 1 cm, für $m_r = 0,9$ mgon, für $m_D = 2$ mm + 2ppm und eine durchschnittliche Entfernung $D = 100$ m an, so ergibt sich ein mittlerer Punktfehler von genau ± 1 cm (einfache Standardabweichung). Vorausgesetzt der Standpunkt ist fehlerfrei. Da in unserem Fall auch der jeweilige Standpunkt einen Fehler aufweist muss vom 2 – 3 fachen (a-priori) dieses Wertes ausgegangen werden. D.h. die Vergleichsmessung kann aufgrund Ihrer verhältnismäßig geringen Abweichung, zu den wahren Koordinaten der Punkte, als fehlerfrei angesehen werden.

5.2. Gegenüberstellung der örtlich aufgenommenen Punkte mit den graphischen Koordinaten dieser Punkte

Bei den örtlich aufgenommenen Punkten handelt es sich um die von uns mittels Tachymeter bestimmten Grenzsteine. Die graphischen Punkte sind eben diese Grenzsteine, die aus einer Abdigitalisierung der analogen Flurkarte stammen. Wie bereits erwähnt sind die graphischen Koordinaten der Grenzpunkte stark fehlerbehaftet. Die von uns aufgenommenen Punkte hingegen weisen nur einen geringen Punktfehler auf (vgl. hierzu Vorbetrachtung (5.1)).

Ziel des Vergleichs ist eine kleinräumige Aussage über die tatsächliche Genauigkeit der graphischen Flurkarte, im Bereich des Messgebietes, treffen zu können. Um dies zu erreichen und mögliche systematische Einflüsse (beispielsweise die Verschiebung in eine Richtung) ausschalten zu können, wurden die nachfolgenden Transformationen durchgeführt. Das Zielsystem bilden dabei die Koordinaten der tachymetrischen Aufnahme, die graphische DFK das Ausgangssystem.

Die „einfache“ Standardabweichung (in den nachfolgenden Tabellen als Std.-Ab. bezeichnet) ergibt sich mit der im Teil A unter 3.1.5. aufgeführten 1. Formel.

Zu berücksichtigen ist, dass es sich bei den Differenzen um den Fehler der „graphischen“ Punkte gegenüber den örtlich aufgenommenen Punkten handelt und nicht um die Verbesserung. Die Restklaffen-Vektoren zeigen somit vom Sollpunkt (örtlich aufgenommener Punkt) zum Istpunkt (transformierter „graphischer“ Punkt).

5.2.1. Ergebnis Helmerttransformation

Güntersleben				Erlach			
Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage	Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage
40016	0.42	0.14	0.44	50015	0.84	0.60	1.03
40017	0.34	0.44	0.56	50022	-0.28	-0.25	0.38
40018	0.23	0.54	0.59	50024	0.26	-0.06	0.27
40019	0.19	0.59	0.62	50026	0.77	0.07	0.77
40020	0.33	0.84	0.90	50033	-1.50	-0.51	1.58
40021	0.35	1.13	1.18	50034	-0.69	0.04	0.69
40022	-0.85	0.55	1.01	50037	0.38	0.90	0.98
40023	-0.53	0.36	0.64	50040	-0.19	0.14	0.23
40024	0.24	-1.03	1.06	50053	1.18	0.60	1.33
40025	0.19	-1.57	1.58	50059	0.29	-0.58	0.64
40026	-0.53	-0.20	0.56	50109	0.28	-0.37	0.47
40027	-0.42	-0.33	0.54	50110	0.39	0.18	0.43
40314	-0.43	-0.60	0.73	50117	-0.05	-0.42	0.42
40316	-0.40	-0.54	0.67	50118	-0.64	0.25	0.68
40317	1.46	0.51	1.55	50183	0.02	0.67	0.67
40340	-0.11	0.36	0.38	50184	-0.45	-1.47	1.54
50062	-0.45	0.22	0.50	50293	-0.08	0.30	0.31
50063	-0.47	0.27	0.54	55015	-0.28	0.60	0.66
50064	-0.01	-0.17	0.17	55019	-0.25	0.51	0.57
50065	0.02	-0.48	0.48				
50066	0.41	-1.02	1.10				
Std.-Ab.	0.50	0.67	0.83		0.60	0.56	0.82

Tabelle 30: Ergebnis Helmerttransformation (Abschnitt 5.2.)

Fazit:

Die Transformationen zeigen in beiden Gebieten ähnlich hohe Klaffen. Die mittlere Klaffung in der Lage beträgt in Güntersleben 0,83 m und in Erlach 0,82 m. In Güntersleben differieren die mittleren Klaffen des Rechts- und Hochwertes um circa 0,17 m. Die höhere mittlere Klaffe im Hochwert resultiert aus den Punkten 40024, 40025 und 50066. Weiterhin weisen die Restklaffen keine Systematik bezüglich ihrer Richtung auf. D.h. die Abweichungen (Klaffen) lassen auf zufällige Fehler bei der damaligen Punktaufnahme, Kartierung und der späteren Digitalisierung schließen.

Die größte Klaffe im Rechtswert beträgt in Güntersleben -1,46 m in Punkt 40317 und in Erlach 1,50 m in Punkt 50033. Im Hochwert beläuft sich die größte Klaffe in Güntersleben auf 1,57 m in Punkt 40025 und in Erlach auf 1,47 m in Punkt 50184.

Der Maßstabsfaktor in Güntersleben ist mit 1,01221 im Vergleich zu Erlach (1,00612) deutlich größer. Beide Maßstabsdifferenzen liegen aber in einem realistischen Bereich.

5.2.2. Ergebnis Affintransformation

Der Grund für die Durchführung der Affintransformation, war eine bessere Einpassung des Ausgangssystems an das Zielsystem, da diese 2 Maßstäbe und 2 Drehungen berücksichtigt. Dies führt jedoch, wie bereits im Kapitel 2.2.2. erläutert, zum Verlust der Konformität.

Güntersleben				Erlach			
Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage	Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage
40016	0.26	0.29	0.39	50015	0.75	0.18	0.77
40017	0.21	0.54	0.58	50022	-0.49	-0.14	0.51
40018	0.12	0.60	0.61	50024	-0.35	-0.58	0.67
40019	0.10	0.63	0.63	50026	0.37	-0.17	0.41
40020	0.30	0.77	0.83	50033	-1.23	0.06	1.24
40021	0.33	1.03	1.08	50034	-0.67	0.26	0.72
40022	-0.71	0.52	0.87	50037	0.09	0.64	0.64
40023	-0.40	0.35	0.53	50040	-0.01	0.45	0.45
40024	0.37	-1.04	1.10	50053	1.09	0.40	1.16
40025	-0.08	-1.57	1.57	50059	0.60	-0.31	0.68
40026	-0.69	-0.34	0.77	50109	0.36	0.10	0.37
40027	-0.61	-0.44	0.75	50110	-0.03	-0.05	0.06
40314	-0.21	-0.71	0.74	50117	0.32	-0.16	0.36
40316	-0.16	-0.69	0.71	50118	-0.27	0.36	0.45
40317	1.53	0.31	1.56	50183	0.24	0.59	0.63
40340	-0.10	0.22	0.24	50184	-0.10	-1.39	1.39
50062	-0.37	0.30	0.48	50293	0.06	0.09	0.11
50063	-0.41	0.37	0.55	55015	-0.39	0.06	0.39
50064	0.04	-0.03	0.05	55019	-0.36	-0.03	0.36
50065	0.05	-0.29	0.30				
50066	0.42	-0.80	0.90				
St.-Ab.	0.48	0.66	0.82		0.53	0.45	0.69

Tabelle 31: Ergebnis Affintransformation Güntersleben (Abschnitt 5.2)

Fazit:

Wie erwartet, zeigen beide Transformationen ähnlich hohe mittlere Klaffen in der Lage, die in Güntersleben mit 0,82 m und in Erlach mit 0,69 m eine Verbesserung gegenüber der Helmerttransformation aufweisen.

Wiederum differieren in Güntersleben die Rechts- und Hochwertklaffen um circa 0,17 m. Auch in Erlach hat sich die Differenz (circa 0,08 m) der beiden Klaffen untereinander vergrößert.

Die größte Klaffe im Rechtswert weist in Güntersleben der Punkt 40317 mit -1,53 m und in Erlach der Punkt 50033 mit 1,23 m auf. Im Hochwert ergibt sich die größte Klaffe in Güntersleben mit 1,57 m in Punkt 40025 und in Erlach mit 1,39 m in Punkt 50184. Eine Systematik in der Verteilungsrichtung der Restklaffen ist nicht vorhanden.

5.2.3. Vergleich der Transformationen

Fazit:

Betrachtet man die Linearabweichung der Klaffen beider Transformationen, stellt man fest, dass diese bei der Affintransformation in den meisten Fällen leicht verringert werden konnte.

In Güntersleben fällt auf, dass mit der Affintransformation kaum eine Verbesserung gegenüber der Helmerttransformation erreicht wurde. Der Grund dafür ist, dass bei der Affintransformation der Mittelwert beider Maßstäbe in etwa dem Helmertmaßstab entspricht. Desweiteren zeigen die Restklaffen in Güntersleben sowohl bei der Helmert- als auch bei der Affintransformation in etwa die gleiche Richtung.

Beim Vergleich beider Transformationen in Erlach ist jedoch eine Veränderung der Klaffen ersichtlich. Zum Einen verlaufen die Klaffen in den Punkten nicht immer in dieselbe Richtung, zum Anderen wurde auch eine Verbesserung durch die Affintransformation erreicht (vgl. hierzu S.141).

Aus den Ergebnissen wird klar, dass, wie erwartet, durch die Verwendung einer Affintransformation eine etwas bessere Anpassung des Ausgangssystems an das Zielsystem zu erreichen ist. Soll aber die Konformität der Flurkarte erhalten bleiben, sollte die Helmerttransformation angewendet werden.

Die bereits in Kapitel 5.1. beschriebenen Genauigkeiten mit einem von uns angenommenen mittleren Punktfehler (einfache Standardabweichung) der graphischen Karte von $\pm 0,5$ bis $\pm 2,2$ m wurden durch unsere Messungen bestätigt.

Gütersleben						
Punktnr.	Helmert Gütersleben			Affin Gütersleben		
	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.
40016	0.42	0.14	0.44	0.26	0.29	0.39
40017	0.34	0.44	0.56	0.21	0.54	0.58
40018	0.23	0.54	0.59	0.12	0.60	0.61
40019	0.19	0.59	0.62	0.10	0.63	0.63
40020	0.33	0.84	0.90	0.30	0.77	0.83
40021	0.35	1.13	1.18	0.33	1.03	1.08
40022	-0.85	0.55	1.01	-0.71	0.52	0.87
40023	-0.53	0.36	0.64	-0.40	0.35	0.53
40024	0.24	-1.03	1.06	0.37	-1.04	1.10
40025	0.19	-1.57	1.58	-0.08	-1.57	1.57
40026	-0.53	-0.20	0.56	-0.69	-0.34	0.77
40027	-0.42	-0.33	0.54	-0.61	-0.44	0.75
40314	-0.43	-0.60	0.73	-0.21	-0.71	0.74
40316	-0.40	-0.54	0.67	-0.16	-0.69	0.71
40317	1.46	0.51	1.55	1.53	0.31	1.56
40340	-0.11	0.36	0.38	-0.10	0.22	0.24
50062	-0.45	0.22	0.50	-0.37	0.30	0.48
50063	-0.47	0.27	0.54	-0.41	0.37	0.55
50064	-0.01	-0.17	0.17	0.04	-0.03	0.05
50065	0.02	-0.48	0.48	0.05	-0.29	0.30
50066	0.41	-1.02	1.10	0.42	-0.80	0.90
Std.-Ab.	0.50	0.67	0.84	0.48	0.66	0.82

Tabelle 32: Vergleich der Transformationen von Gütersleben (Abschnitt 5.2.)

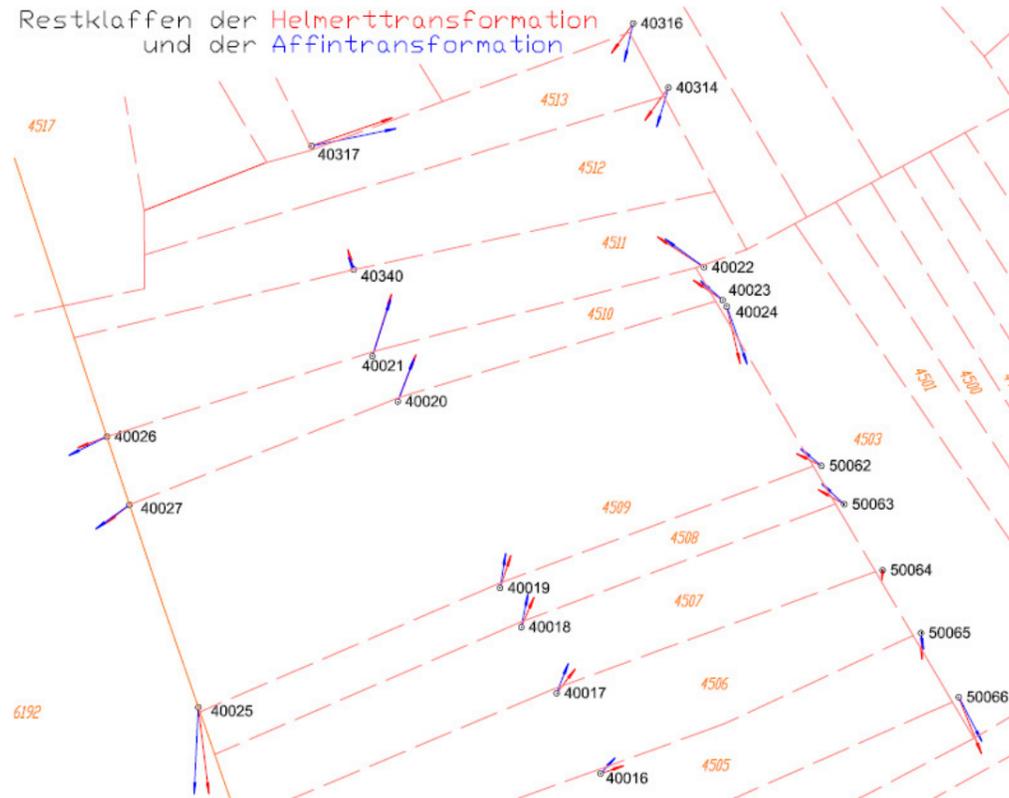


Abb. 115: graphischer Vergleich in Gütersleben (Abschnitt 5.2.), Maßstab ca. 1:1300, Restklassen 10-fach überhöht dargestellt

Erlach						
Punktnr.	Helmert Erlach			Affin Erlach		
	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.
50015	0.84	0.60	1.03	0.75	0.18	0.77
50022	-0.28	-0.25	0.38	-0.49	-0.14	0.51
50024	0.26	-0.06	0.27	-0.35	-0.58	0.67
50026	0.77	0.07	0.77	0.37	-0.17	0.41
50033	-1.50	-0.51	1.58	-1.23	0.06	1.24
50034	-0.69	0.04	0.69	-0.67	0.26	0.72
50037	0.38	0.90	0.98	0.09	0.64	0.64
50040	-0.19	0.14	0.23	-0.01	0.45	0.45
50053	1.18	0.60	1.33	1.09	0.40	1.16
50059	0.29	-0.58	0.64	0.60	-0.31	0.68
50109	0.28	-0.37	0.47	0.36	0.10	0.37
50110	0.39	0.18	0.43	-0.03	-0.05	0.06
50117	-0.05	-0.42	0.42	0.32	-0.16	0.36
50118	-0.64	0.25	0.68	-0.27	0.36	0.45
50183	0.02	0.67	0.67	0.24	0.59	0.63
50184	-0.45	-1.47	1.54	-0.10	-1.39	1.39
50293	-0.08	0.30	0.31	0.06	0.09	0.11
55015	-0.28	0.60	0.66	-0.39	0.06	0.39
55019	-0.25	0.51	0.57	-0.36	-0.03	0.36
Std.-Ab.	0.60	0.56	0.82	0.53	0.45	0.69

Tabelle 33: Vergleich der Transformationen von Erlach (Abschnitt 5.2.)

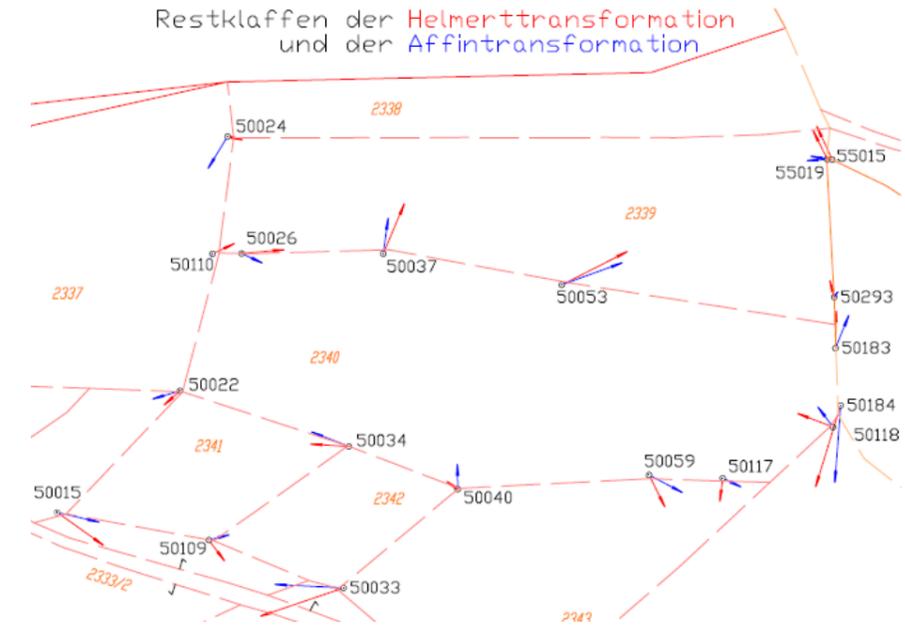


Abb. 116: graphischer Vergleich in Erlach (Abschnitt 5.2.), Maßstab ca. 1:1300, Restklassen 10-fach überhöht dargestellt

5.3. Gegenüberstellung der örtlich aufgenommenen Punkte mit der GNSS Handheldmessung

Die örtlich aufgenommenen Punkte stellen, wie schon unter 5.2. beschreiben, die Grenzsteine dar, die mittels Tachymeter bestimmt wurden. Bei den Punkten die mittels GNSS-Handheldmessung aufgenommen wurden, handelt es sich um die selben Grenzsteine.

Der Sinn und Zweck dieser Gegenüberstellung besteht darin, ein Fazit über die Genauigkeit, der mit GNSS aufgenommenen Punkte zu erhalten. Desweiteren soll eine eventuell vorhandene Systematik (beispielsweise Verschiebung aller Punkte in eine Richtung) bei der GNSS-Messung aufgedeckt werden.

Nach einem Vergleich, der durch „sture“ Gegenüberstellung der GNSS-Koordinaten und denen mit Tachymeter ermittelten erfolgt, schließen sich 2 Transformationen an (Helmert, Affin). Da die eigentlichen GNSS-Koordinaten bei jeglichen im ALF durchgeführten Messungen mit einem Transformationsmodell in das GK-System überführt werden (also nicht durch nahe liegende Passpunkte), ist davon auszugehen, dass sich das Ergebnis durch eine Transformation (Helmert, Affin) um etwa 20 - 30 cm verbessert.

Die „einfache“ Standardabweichung (in den nachfolgenden Tabellen als Std.-Ab. bezeichnet) ergibt sich mit der im Teil A unter 3.1.5. aufgeführten 1. Formel.

Zu berücksichtigen ist, das es sich bei den Differenzen um den Fehler der GNSS Punkte gegenüber den örtlich aufgenommenen Punkten handelt und nicht um die Verbesserung. Die Restklaffen-Vektoren zeigen somit vom Sollpunkt (örtlich aufgenommener Punkt) zum Istpunkt (transformierter GNSS Punkt)

5.3.1. Ergebnis ohne Transformation

An erster Stelle soll ein Vergleich der Punkte ohne Transformation erfolgen. Eventuelle systematische Fehlereinflüsse (Verschiebung, Verdrehung, Maßstab) bleiben somit unberücksichtigt. Es werden also nur die Sollkoordinaten (die mit Tachymeter bestimmten Punkte) mit den Istkoordinaten (die mit GNSS-Handheldmessung bestimmten Punkte) verglichen. Daraus resultiert die „einfache“ Differenz im Rechtswert sowie im Hochwert. Die lineare Abweichung (Differenz Lage) ergibt sich aus

$$Diff.Lage = \sqrt{Diff.Rechtswert^2 + Diff.Hochwert^2}$$

Güntersleben				Erlach			
Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage	Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage
100w	-0.94	-0.62	1.13	G1	1.43	3.96	4.21
101w	-2.43	0.74	2.54	G2	3.24	0.66	3.31
102w	-1.77	-6.54	6.78	G3	1.99	4.52	4.94
103w	3.16	3.99	5.09	G4	2.00	2.59	3.27
104w	-0.88	-5.32	5.39	G5	1.10	4.78	4.90
40018	3.09	4.52	5.48	G6	-2.00	-1.78	2.67
40019	-3.29	-0.26	3.30	G7	-2.37	-1.56	2.83
40020	0.14	1.26	1.27	50015	0.55	-5.62	5.65
40022	-0.93	0.37	1.00	50022	0.03	6.18	6.18
40023	-1.43	-0.92	1.70	50024	0.59	0.09	0.59
40024	1.37	-0.45	1.44	50026	2.75	1.31	3.05
40025	-3.59	-1.66	3.96	50033	-1.26	0.95	1.58
40026	2.80	-4.54	5.33	50034	-1.36	0.90	1.63
40027	-2.52	-7.36	7.78	50037	2.58	-2.17	3.37
40314	0.12	1.93	1.93	50040	3.25	0.81	3.35
40316	1.96	2.46	3.15	50053	2.64	-2.05	3.35
40317	-0.70	0.48	0.85	50059	-1.05	0.97	1.43
42022	-3.76	-2.39	4.46	50109	1.15	-4.73	4.87
42023	-0.28	0.29	0.40	50110	2.01	3.42	3.97
42024	2.01	2.59	3.28	50117	2.10	2.22	3.05
42025	-1.21	1.80	2.17	50118	1.22	-0.21	1.24
42026	-2.12	-1.08	2.38	50183	1.74	-4.71	5.02
42027	1.31	-2.31	2.66	50184	0.87	-4.43	4.51
42030	-2.29	-1.12	2.55	50293	1.49	-1.70	2.26
42061	2.02	0.02	2.02	55015	2.42	2.64	3.58
50062	1.07	2.50	2.72	55019	1.90	2.77	3.36
50063	-0.36	5.29	5.30				
Std.-Ab.	2.05	3.08	3.70		1.91	3.12	3.66

Tabelle 34: Vergleich ohne Transformation (Abschnitt 5.3.)

Fazit:

Das Ergebnis weist sowohl in Erlach als auch in Güntersleben einen nahezu identischen Wert auf. Die größte Lagedifferenz in Güntersleben beträgt 7,78 m in Punkt 40027, in Erlach 6,18 m in Punkt 50022. Wie aus der Tabelle 34 zu entnehmen, ist die Standardabweichung im Hochwert etwa 1m größer als jene im Rechtswert. Diese Werte bestätigen nochmals die Ausführungen im Teil A dieser Diplomarbeit, wonach bei GNSS-Handheldmessungen eine größere Verteilung der Positionen in Nord - Südverlauf vorhanden ist. Somit ergeben sich auch größere Fehler im Hochwert. Die Standardabweichung in der Lage beider Messgebiete kann als identisch angesehen werden, wobei die einzelnen Differenzen in Güntersleben untereinander stärker differieren. Zurückzuführen ist dies auf die stark schwankende Beschaffenheit des Geländes (Gefälle, Art des Bewuchses) und den dadurch mehr oder weniger beeinflussten Satellitensignalen.

5.3.2. Ergebnis der Helmerttransformation

Güntersleben				Erlach			
Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage	Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage
100w	-0.24	-1.59	1.61	G1	0.34	2.96	2.98
101w	-1.28	0.88	1.55	G2	2.77	-0.15	2.78
102w	-1.01	-5.77	5.86	G3	1.33	4.08	4.29
103w	2.83	4.56	5.37	G4	0.84	2.10	2.27
104w	-1.34	-5.78	5.93	G5	-0.50	4.29	4.31
40018	2.62	4.81	5.48	G6	-3.45	-1.70	3.84
40019	-3.62	0.15	3.62	G7	-4.09	-1.83	4.48
40020	0.49	1.51	1.59	50015	0.37	-6.48	6.50
40022	-0.83	-0.42	0.93	50022	-0.63	5.27	5.30
40023	-1.47	-1.67	2.22	50024	-0.52	-1.04	1.16
40024	1.29	-1.25	1.79	50026	1.80	0.38	1.84
40025	-3.66	-0.20	3.67	50033	-1.75	0.61	1.85
40026	3.51	-3.43	4.91	50034	-2.10	0.38	2.13
40027	-2.02	-6.07	6.40	50037	1.47	-2.83	3.19
40314	0.77	0.85	1.15	50040	2.40	0.58	2.47
40316	2.84	1.32	3.13	50053	1.34	-2.37	2.72
40317	0.49	0.48	0.68	50059	-2.14	1.00	2.36
42022	-2.57	-1.72	3.09	50109	0.80	-5.30	5.36
42023	1.06	0.85	1.36	50110	1.08	2.42	2.65
42024	3.24	2.69	4.21	50117	0.87	2.40	2.55
42025	0.05	2.73	2.73	50118	-0.22	0.10	0.24
42026	-1.86	0.25	1.88	50183	0.21	-4.46	4.47
42027	2.38	-1.33	2.73	50184	-0.57	-4.11	4.15
42030	-2.75	0.44	2.78	50293	-0.15	-1.55	1.56
42061	1.76	1.43	2.27	55015	0.49	2.57	2.62
50062	0.43	1.74	1.79	55019	-0.01	2.69	2.69
50063	-1.09	4.53	4.66				
Std.-Ab.	2.07	2.84	3.51		1.62	3.00	3.41

Tabelle 35: Ergebnis Helmerttransformation (Abschnitt 5.3.)

Fazit:

Erwartungsgemäß hat sich das Transformationsergebnis gegenüber dem einfachen Vergleich leicht verbessert. Der Maßstabsfaktor der Transformation beträgt in Güntersleben 0,98933. In Erlach ist Dieser mit 0,99256 etwas besser. Die größte Lagedifferenz hat sich in Güntersleben leicht verringert und beträgt 6,40 m in Punkt 40027. In Erlach beträgt Diese 6,50 m in Punkt 50015 und hat sich somit erhöht. Die Helmerttransformation zeigt auf, dass keine einheitliche Systematik der GNSS-Positionen vorliegt. Dies wird auch an den Vorzeichen der Differenzen im Rechts- und Hochwert deutlich. D.h. die „Messfigur“ und die „Koordinatenfigur“ sind sich nicht ähnlich, somit minimiert die Helmerttransformation lediglich die Restklaffen (Methode der kleinsten Quadrate). Der Wert der Standardabweichung liegt in beiden Fällen deutlich über 3 Meter. Es wird an dieser Stelle nochmals bemerkt, dass es sich dabei um die einfache Standardabweichung handelt!

5.3.3. Ergebnis der Affintransformation

Güntersleben				Erlach			
Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage	Punkt Nr.	Diff. Rechtswert	Diff. Hochwert	Diff. Lage
100w	-1.10	-1.79	2.10	G1	-0.09	1.45	1.46
101w	-1.93	1.39	2.38	G2	2.08	0.26	2.10
102w	-1.06	-5.30	5.41	G3	1.01	4.96	5.06
103w	3.51	4.22	5.49	G4	0.80	1.74	1.92
104w	-1.06	-6.58	6.66	G5	-0.27	2.90	2.92
40018	3.27	4.27	5.38	G6	-2.93	-1.32	3.22
40019	-3.02	-0.24	3.03	G7	-3.64	-2.93	4.67
40020	0.50	1.52	1.60	50015	-0.54	-5.56	5.59
40022	-1.14	-0.96	1.49	50022	-1.27	4.97	5.13
40023	-1.66	-2.29	2.83	50024	-1.03	-2.88	3.06
40024	1.11	-1.92	2.22	50026	1.33	-0.63	1.47
40025	-2.74	-0.04	2.74	50033	-2.12	2.14	3.01
40026	3.67	-2.87	4.65	50034	-2.43	0.88	2.59
40027	-1.62	-5.58	5.81	50037	1.28	-3.54	3.76
40314	-0.10	0.58	0.59	50040	2.33	1.55	2.80
40316	1.76	1.18	2.12	50053	1.50	-2.65	3.04
40317	-0.26	0.97	1.00	50059	-1.88	2.06	2.79
42022	-2.99	-0.99	3.15	50109	0.19	-4.03	4.03
42023	0.47	1.64	1.71	50110	0.54	1.29	1.40
42024	2.50	3.24	4.09	50117	1.31	3.54	3.77
42025	-0.30	3.61	3.62	50118	0.44	1.09	1.17
42026	-1.26	0.58	1.39	50183	0.89	-3.86	3.96
42027	2.20	-0.57	2.27	50184	0.10	-3.10	3.10
42030	-1.49	0.37	1.53	50293	0.53	-1.44	1.54
42061	2.80	1.44	3.15	55015	1.21	1.51	1.93
50062	0.69	0.70	0.99	55019	0.69	1.61	1.75
50063	-0.76	3.44	3.52				
St.-Ab.	1.97	2.78	3.41		1.53	2.83	3.21

Tabelle 36: Ergebnis Affintransformation (Abschnitt 5.3.)

Fazit:

Durch die Affintransformation verringert sich die Standardabweichung der Lage nochmals um 0,10 m in Güntersleben und 0,20 m in Erlach. Das resultiert aus den 2 Maßstäben sowie 2 Drehungen und geht damit zu Lasten der Konformität. Der Maßstabsfaktor in Güntersleben hat in Y den Wert 0,99031, in X den Wert 0,99520, d.h. es ist kein gravierender Unterschied festzustellen. In Erlach hingegen liegt der Maßstabsfaktor in Y bei 1,00349 sowie 0,95238 in X. Aus diesem Grund verbessert sich auch das Ergebnis deutlicher gegenüber dem in Güntersleben. Die größte Lageabweichung besteht in Güntersleben mit 6,66 m in Punkt 104w, im Messgebiet Erlach mit 5,59 m in Punkt 50019.

5.3.4. Vergleich der Transformationen

Fazit:

In beiden Testgebieten gehen die Standardabweichungen (linear) vom einfachen Vergleich über die Helmerttransformation bis hin zur Affintransformation sukzessive um jeweils etwa 20 – 30 cm zurück. Dies entspricht den unter 5.3. beschriebenen Ausführungen, wonach sich die im Transformationsmodell vorhandenen Spannungen durch die, von uns durchgeführten, kleinräumigen Transformationen minimieren. Das Ergebnis liegt somit im erwartungsgemäßen Bereich. Daraus lässt sich auch nochmals ablesen dass die GNSS-Messung keine Systematik aufweist, was auch die Untersuchungen im Teil A dieser Diplomarbeit unterstreichen. Somit kommt es nur zu einer Systematik, wenn der Horizont im gesamten Messgebiet jeweils nur von einer Himmelsrichtung abgeschattet ist, oder das Messgebiet völlig frei von Abschattungen ist. Im Wald (gesamter Horizont mäßig bis stark abgeschattet) hingegen ist eine zufällige Streuung der Punkte zu erwarten.

Der Vektorenverlauf der Residuen (Restklaffen), legt man den Maßstab zugrunde dass es sich dabei um eine Submetergenaue GNSS-Messung handelt, ist bei der Helmerttransformation und der Affintransformation nahe zu identisch

Desweiteren ist zu erkennen, dass die Mehrzahl der Punkte auch nach den Transformationen eine größere lineare Abweichung als $\pm 1,5$ m aufweisen und, dass in beiden Testgebieten in etwa das gleiche Ergebnis zustande kam, was die Zuverlässigkeit unserer Ergebnisaussagen unterstreicht.

Zum Schluss ist festzuhalten, dass die Affintransformation lediglich zur theoretischen Genauigkeitsbetrachtung durchgeführt wurde. Sie sollte in der Praxis nicht angewendet werden, da nicht davon auszugehen ist, dass in der GNSS-Messung zwei Maßstäbe vorliegen.

Güntersleben									
Punktnr.	Vergleich ohne Trafo Güntersleben			Helmert Güntersleben			Affin Güntersleben		
	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.
100w	-0.94	-0.62	1.13	-0.24	-1.59	1.61	-1.10	-1.79	2.10
101w	-2.43	0.74	2.54	-1.28	0.88	1.55	-1.93	1.39	2.38
102w	-1.77	-6.54	6.78	-1.01	-5.77	5.86	-1.06	-5.30	5.41
103w	3.16	3.99	5.09	2.83	4.56	5.37	3.51	4.22	5.49
104w	-0.88	-5.32	5.39	-1.34	-5.78	5.93	-1.06	-6.58	6.66
40018	3.09	4.52	5.48	2.62	4.81	5.48	3.27	4.27	5.38
40019	-3.29	-0.26	3.30	-3.62	0.15	3.62	-3.02	-0.24	3.03
40020	0.14	1.26	1.27	0.49	1.51	1.59	0.50	1.52	1.60
40022	-0.93	0.37	1.00	-0.83	-0.42	0.93	-1.14	-0.96	1.49
40023	-1.43	-0.92	1.70	-1.47	-1.67	2.22	-1.66	-2.29	2.83
40024	1.37	-0.45	1.44	1.29	-1.25	1.79	1.11	-1.92	2.22
40025	-3.59	-1.66	3.96	-3.66	-0.20	3.67	-2.74	-0.04	2.74
40026	2.80	-4.54	5.33	3.51	-3.43	4.91	3.67	-2.87	4.65
40027	-2.52	-7.36	7.78	-2.02	-6.07	6.40	-1.62	-5.58	5.81
40314	0.12	1.93	1.93	0.77	0.85	1.15	-0.10	0.58	0.59
40316	1.96	2.46	3.15	2.84	1.32	3.13	1.76	1.18	2.12
40317	-0.70	0.48	0.85	0.49	0.48	0.68	-0.26	0.97	1.00
42022	-3.76	-2.39	4.46	-2.57	-1.72	3.09	-2.99	-0.99	3.15
42023	-0.28	0.29	0.40	1.06	0.85	1.36	0.47	1.64	1.71
42024	2.01	2.59	3.28	3.24	2.69	4.21	2.50	3.24	4.09
42025	-1.21	1.80	2.17	0.05	2.73	2.73	-0.30	3.61	3.62
42026	-2.12	-1.08	2.38	-1.86	0.25	1.88	-1.26	0.58	1.39
42027	1.31	-2.31	2.66	2.38	-1.33	2.73	2.20	-0.57	2.27
42030	-2.29	-1.12	2.55	-2.75	0.44	2.78	-1.49	0.37	1.53
42061	2.02	0.02	2.02	1.76	1.43	2.27	2.80	1.44	3.15
50062	1.07	2.50	2.72	0.43	1.74	1.79	0.69	0.70	0.99
50063	-0.36	5.29	5.30	-1.09	4.53	4.66	-0.76	3.44	3.52
Std.-Ab.	2.05	3.08	3.70	2.07	2.84	3.51	1.97	2.78	3.41

Tabelle 37: Vergleich der Transformationen von Güntersleben (Abschnitt 5.3.)

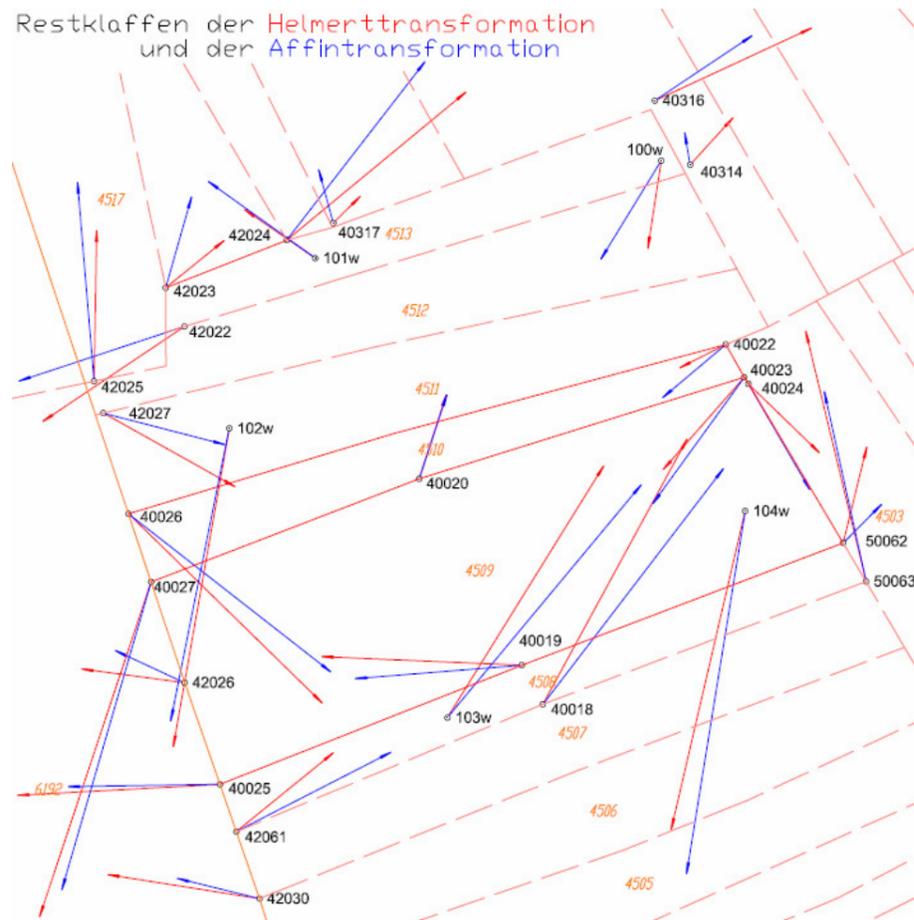


Abb. 117 : graphischer Vergleich in Güntersleben (Abschnitt 5.3.), Maßstab ca. 1:1300, Restklaffen 10-fach überhöht dargestellt

Erlach									
Punktnr.	Vergleich ohne Trafo Erlach			Helmert Erlach			Affin Erlach		
	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.	D-Rechts	D-Hoch	Linearabw.
G1	1.43	3.96	4.21	0.34	2.96	2.98	-0.09	1.45	1.46
G2	3.24	0.66	3.31	2.77	-0.15	2.78	2.08	0.26	2.10
G3	1.99	4.52	4.94	1.33	4.08	4.29	1.01	4.96	5.06
G4	2.00	2.59	3.27	0.84	2.10	2.27	0.80	1.74	1.92
G5	1.10	4.78	4.90	-0.50	4.29	4.31	-0.27	2.90	2.92
G6	-2.00	-1.78	2.67	-3.45	-1.70	3.84	-2.93	-1.32	3.22
G7	-2.37	-1.56	2.83	-4.09	-1.83	4.48	-3.64	-2.93	4.67
50015	0.55	-5.62	5.65	0.37	-6.48	6.50	-0.54	-5.56	5.59
50022	0.03	6.18	6.18	-0.63	5.27	5.30	-1.27	-4.97	5.13
50024	0.59	0.09	0.59	-0.52	-1.04	1.16	-1.03	-2.88	3.06
50026	2.75	1.31	3.05	1.80	0.38	1.84	1.33	-0.63	1.47
50033	-1.26	0.95	1.58	-1.75	0.61	1.85	-2.12	2.14	3.01
50034	-1.36	0.90	1.63	-2.10	0.38	2.13	-2.43	0.88	2.59
50037	2.58	-2.17	3.37	1.47	-2.83	3.19	1.28	-3.54	3.76
50040	3.25	0.81	3.35	2.40	0.58	2.47	2.33	1.55	2.80
50053	2.64	-2.05	3.35	1.34	-2.37	2.72	1.50	-2.65	3.04
50059	-1.05	0.97	1.43	-2.14	1.00	2.36	-1.88	2.06	2.79
50109	1.15	-4.73	4.87	0.80	-5.30	5.36	0.19	-4.03	4.03
50110	2.01	3.42	3.97	1.08	2.42	2.65	0.54	1.29	1.40
50117	2.10	2.22	3.05	0.87	2.40	2.55	1.31	3.54	3.77
50118	1.22	-0.21	1.24	-0.22	0.10	0.24	0.44	1.09	1.17
50183	1.74	-4.71	5.02	0.21	-4.46	4.47	0.89	-3.86	3.96
50184	0.87	-4.43	4.51	-0.57	-4.11	4.15	0.10	-3.10	3.10
50293	1.49	-1.70	2.26	-0.15	-1.55	1.56	0.53	-1.44	1.54
55015	2.42	2.64	3.58	0.49	2.57	2.62	1.21	1.51	1.93
55019	1.90	2.77	3.36	-0.01	2.69	2.69	0.69	1.61	1.75
Std.-Ab.	1.91	3.12	3.66	1.62	3.00	3.41	1.53	2.83	3.21

Tabelle 38: Vergleich der Transformationen von Erlach (Abschnitt 5.3.)

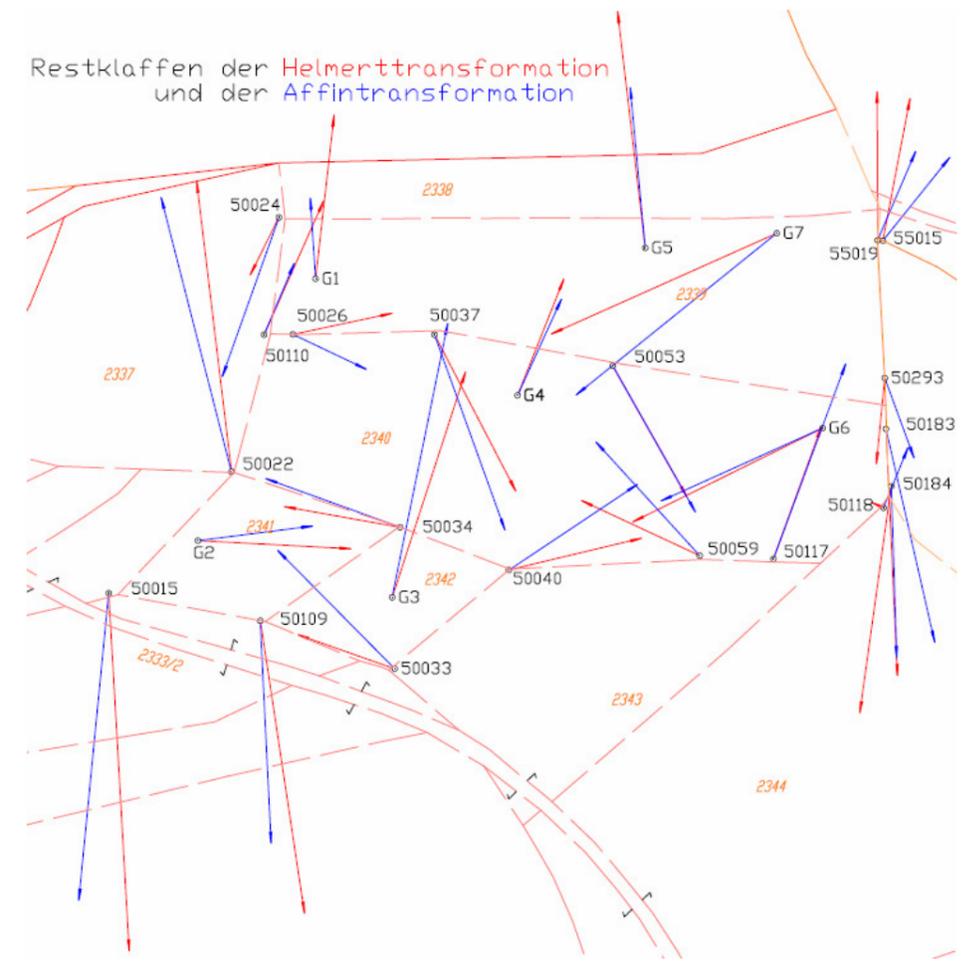


Abb. 118: graphischer Vergleich in Erlach (Abschnitt 5.3.), Maßstab ca. 1:1300, Restklaffen 10-fach überhöht dargestellt

6. Auswirkungen der Geobasisdaten und der GNSS-Handheldmessung auf die Größe der Förderflächen

Die Förderflächenberechnung am ALF beruht auf der Grundlage der DFK und der GNSS-Handheldmessung.

Angenommen die Förderfläche liegt auf nur einem Flurstück, so ist der Einfluss der DFK nicht von Bedeutung. In diesem Fall ist die Genauigkeit der Förderfläche nur von der GNSS-Handheldmessung abhängig.

Überspannt die Förderfläche jedoch mehrere Flurstücke, so werden die Daten der DFK bezüglich der Schnittpunktberechnung zwischen Diesen und der GNSS-Messung herangezogen (vgl. Abb. 119).

Im „Normalfall“ kann eine Förderflächenbeantragung immer nur durch einen Antragssteller erfolgen. D.h. die Förderfläche liegt entweder auf einen großen Flurstück oder mehreren Flurstücken eines Eigentümers (Antragssteller). Daraus folgt, dass die Teilflächen für Diesen nicht von Bedeutung sind. —→ Die Genauigkeit der Flurkarte ist uninteressant, lediglich die Fehler der GNSS-Messung beeinflussen die Gesamtförderfläche!

Handelt es sich jedoch bei dem Antragssteller um einen forstwirtschaftlichen Zusammenschluss (mehrere Waldbesitzer) so sind die Teilflächen, die sich aus den Schnitten der Flurkarte mit der Förderfläche ergeben, für den jeweiligen Besitzer des Flurstücks von Bedeutung

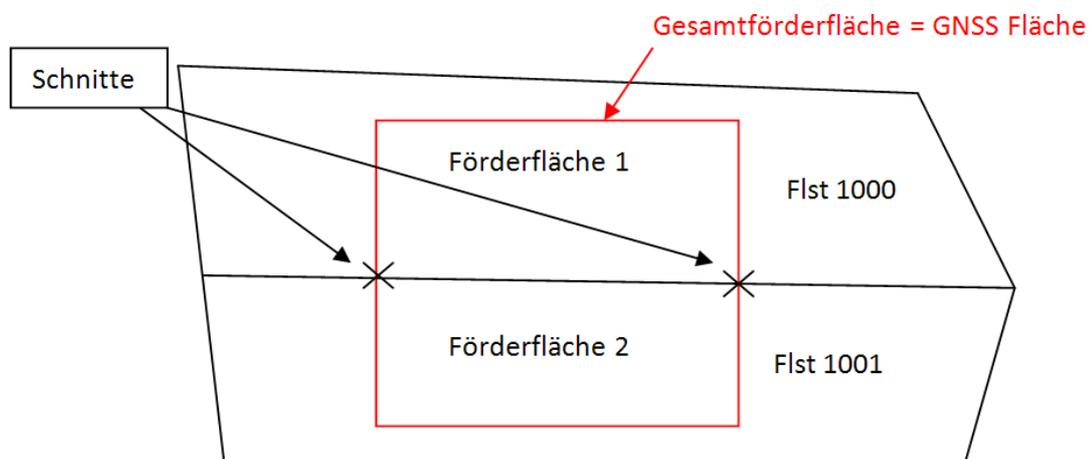


Abb. 119: Prinzip der Schnittbildung

Es wird ersichtlich, dass sich die Genauigkeit der Schnittpunkte aus der Genauigkeit der Flurkarte sowie der GNSS-Messung ableitet. D.h. sind die DFK und/oder die GNSS-Messung fehlerbehaftet, so wirkt sich dies auf die Schnittpunktberechnung aus und folglich auch auf die einzelnen Förderflächen.

Im Anschluss wird beschrieben, was die einzelnen Fehlereinflüsse sowie das Zusammenspiel dieser bewirken. Als Vergleichsgrundlage dienen die mittels Tachymeter aufgemessenen Grenzen (im Folgenden als „numerische“ Karte bezeichnet) sowie die tachymetrisch bestimmten GNSS-Punkte (bezeichnet im Folgenden als Tachymetermessung).

Die folgenden Abbildungen (120, 121) zeigen die Lage der Förderfläche (gelb) in Güntersleben/Erlach die über mehrere Flurstücke geht (Kopien der Originalausdrucke). Desweiteren sind die einzelnen Teilflächen mit der Lage auf dem jeweiligen Flurstück, der Größe und dem Umfang zusammengestellt. Bei den roten großen Punkten handelt es sich um die mit GNSS-Handheldgerät aufgemessenen Eckpunkte der Förderfläche sowie den in der Örtlichkeit vorhandenen Grenzsteinen der betreffenden Flurstücke. Normalerweise sind beim Forst nur die Eckpunkte der Förderfläche von Bedeutung. Die von uns zusätzlich aufgemessenen Grenzsteine dienen zur Genauigkeitsuntersuchung der GNSS-Messung, die im den Abschnitt 5.3. aufgeführt ist. Die kleinen roten Punkte sind die vom Forst berechneten Schnittpunkte zwischen Förderfläche und der zugrunde liegenden DFK. Der Abstand zwischen den jeweiligen Punkten ist durch Dezimetermaße angegeben.

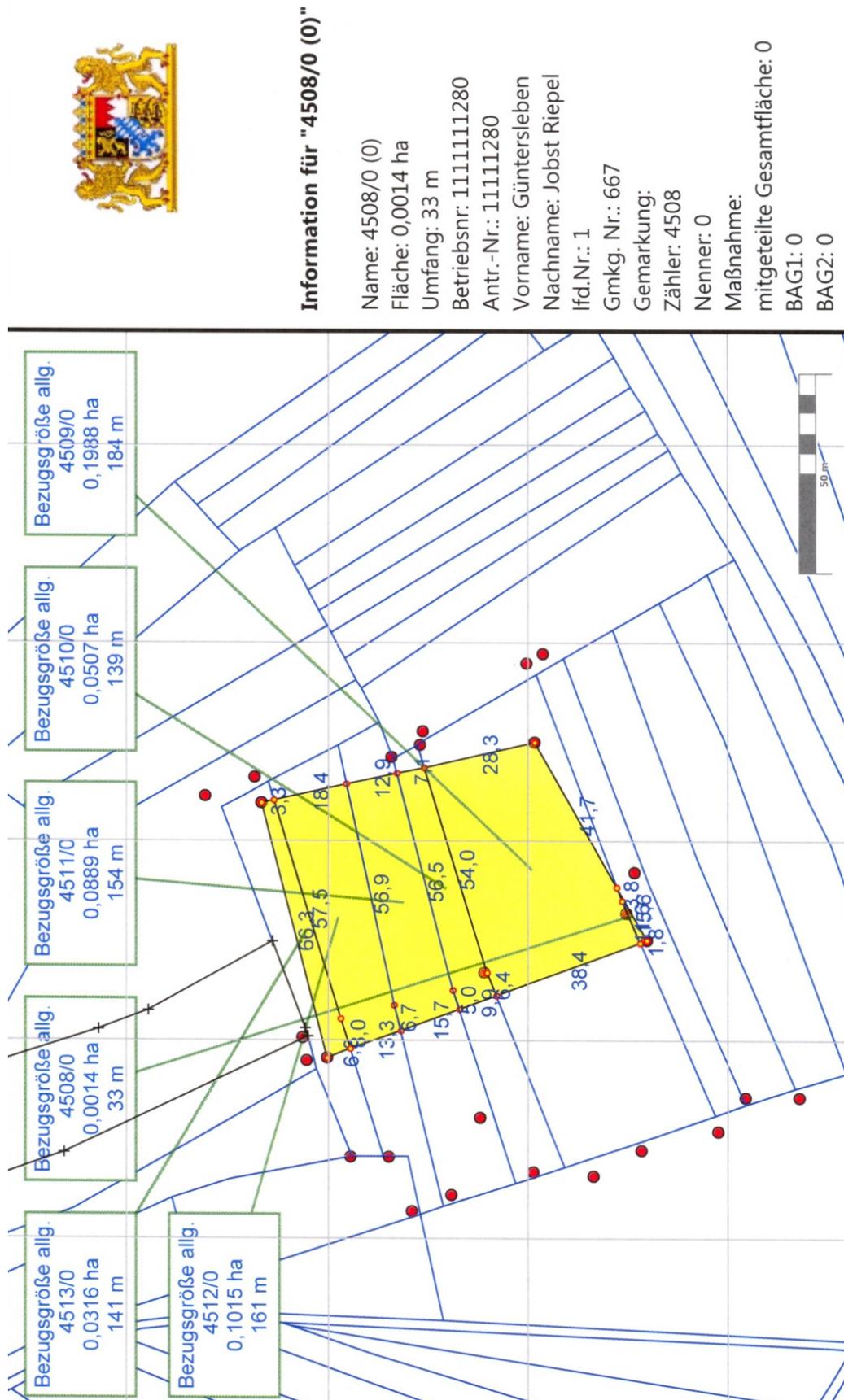


Abb. 120: Kopie des Originalausdruckes von den sich ergebenden Teilflächen in Güntersleben

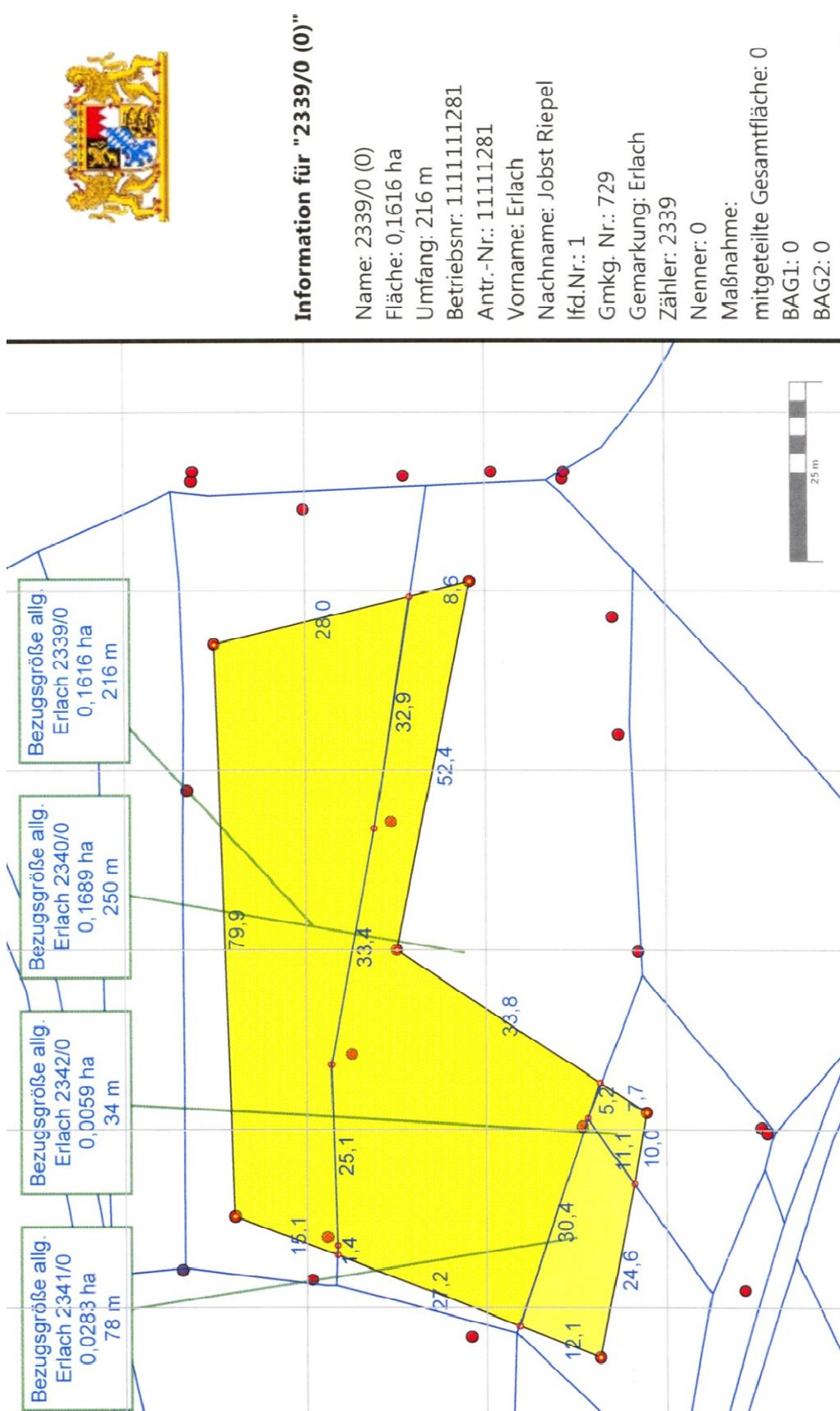


Abb. 121: Kopie des Originalausdruckes von den sich ergebenden Teilflächen in Erlach

6.1. Welchen Einfluss hat die Flurkarte?

Dieser Einfluss resultiert aus dem Vergleich zwischen „graphischer“ Karte (digitalisierte Grenze) und „numerischer“ Karte (tachymetrisch bestimmte Grenze).

Um diesen Einfluss zu ermitteln, erfolgte die Schnittpunktberechnung zwischen DFK und GNSS-Messung sowie die daraus resultierende Flächenberechnung, einmal auf Grundlage der „graphischen“ Karte und zum anderen auf Grundlage der „numerischen“ Karte. Die Gegenüberstellung und Differenzbildung der Ergebnisse (Flächen) führen zum Fehlereinfluss der „graphischen“ Karte auf die einzelnen Förderflächen. Die Berechnung der Schnitte erfolgte mit auf 2 Nachkommastellen gerundeten Koordinaten. In der Forstverwaltung berechnet man diese mit 8 Nachkommastellen, was auf Grund der Genauigkeit der GNSS-Messung (maximal Submeter) nicht zweckmäßig erscheint. Daraus resultieren die Abweichungen von 1-2 Quadratmeter zu den von uns berechneten Flächen.

$$\text{Fehlereinfluss} = \text{Ist} - \text{Soll}$$

Daraus folgt:

Fehlereinfluss der „graphischen“ Flurkarte = „graphische“ Karte & GNSS-Messung – „numerische“ Karte & GNSS-Messung

Der Fehlereinfluss der „graphischen“ Karte beschreibt den Fehler der Förderflächenberechnung, wenn diese auf Grundlage der „graphischen“ Karte, welche in Waldgebieten oft vorhanden ist, erfolgt.

Güntersleben:

Flst. Nr. des betreffenden Flurstücks	Flächenberechnung auf Grundlage		Fehlereinfluss der "graphischen" Flurkarte (m ²)
	"graphischer" Karte & GNSS-Messung (m ²)	"numerischer" Karte & GNSS-Messung (m ²)	
4508	15	7	8
4509	1990	1973	17
4510	506	496	10
4511	889	925	-36
4512	1017	1060	-43
4513	314	271	43
Summe	4731	4732	-1

Tabelle 39: Fehlereinfluss "graphische" Flurkarte in Güntersleben

Erlach:

Flst. Nr. des betreffenden Flurstücks	Flächenberechnung auf Grundlage		Fehlereinfluss der "graphischen" Flurkarte (m ²)
	"graphischer" Karte & GNSS-Messung (m ²)	"numerischer" Karte & GNSS-Messung (m ²)	
2339	1617	1662	-45
2340	1687	1643	44
2341	283	282	1
2342	60	59	1
2337	0	0	0
Summe	3646	3646	0

Tabelle 40: Fehlereinfluss „graphische“ Flurkarte in Erlach

Fazit:

Wie aus den Tabellen 39 und 40 ersichtlich ist der Fehleranteil nicht flächenabhängig (zufällig).

Die Gesamtfläche (Summe) bleibt logischerweise identisch (die Differenz von 1 Quadratmeter in Tabelle 39 ist rundungsbedingt zu erklären). Da sich jedoch die Berechnungsgrundlage (Karte) ändert, ändern sich auch die Einzelflächen. Dies führt dazu, dass einige Flächen zu groß, andere wiederum zu klein berechnet sind und sich somit in der Summe ausgleichen. D.h. erfolgt die Berechnung auf Grundlage der „graphischen“ Karte, so „profitieren“ einige von der Förderfläche und andere nicht.

6.2. Wie groß ist der Einfluss der GNSS-Messung?

Nachdem keine Systematik beim Fehlereinfluss der „graphischen“ Flurkarte aufgezeigt werden konnte, soll an dieser Stelle der Einfluss der GNSS-Messung dargelegt werden.

Zur Ermittlung dieses Einflusses, erfolgte die Berechnung der Schnittpunkte und der sich daraus ergebenden Flächen einmal zwischen der „numerischen“ Karte und der GNSS-Messung sowie, ein weiteres Mal, zwischen der „numerischen“ Karte und der mittels Tachymeter aufgenommenen GNSS-Punkte. Die Gegenüberstellung und Differenzbildung der Ergebnisse (Flächen) führen zum Fehlereinfluss der GNSS-Messung.

$$\text{Fehlereinfluss} = \text{Ist} - \text{Soll}$$

Daraus folgt:

Fehlereinfluss der GNSS-Messung = „numerische“ Karte & GNSS-Messung – „numerische“ Karte & Tachymetermessung

Güntersleben:

Flst. Nr. des betreffenden Flurstücks	Flächenberechnung auf Grundlage		Fehlereinfluss der GNSS-Messung
	"numerischer" Karte & GNSS-Messung	"numerischer" Karte & Tachymetermessung	
	(m ²)	(m ²)	(m ²)
4508	7	32	-25
4509	1973	2036	-63
4510	496	516	-20
4511	925	944	-19
4512	1060	1068	-8
4513	271	231	40
Summe	4732	4827	-95

Tabelle 41: Fehlereinfluss GNSS-Messung in Erlach

Erlach:

Flst. Nr. des betreffenden Flurstücks	Flächenberechnung auf Grundlage		Fehlereinfluss der GNSS-Messung
	"numerischer" Karte & GNSS-Messung	"numerischer" Karte & Tachymetermessung	
	(m ²)	(m ²)	(m ²)
2339	1662	1640	22
2340	1643	1717	-74
2341	282	375	-93
2342	59	115	-56
2337	0	1	-1
Summe	3646	3848	-201

Tabelle 42: Fehlereinfluss GNSS-Messung in Erlach

Fazit:

Die Tabellen 41 und 42 zeigen, dass der Fehleranteil wiederum nicht flächenabhängig (zufällig) ist.

Die Gesamtfläche (Summe) ändert sich in diesem Fall, da die Fläche einmal mittels Tachymeter bestimmt wurde und einmal durch die GNSS-Handheldmessung. Die Tachymetermessung stellt, ihrer Genauigkeit wegen, den „wahren“ Wert dar. Da sich die Berechnungsgrundlage nicht ändert, dürften sich die Teilflächen theoretisch auch nicht ändern. Durch die geringe Genauigkeit der GNSS-Messung ergeben sich jedoch mehr oder weniger große Flächendifferenzen.

D.h. erfolgt die Berechnung mittels GNSS-Messung, so „profitieren“ auch diesmal einige von der Förderfläche und andere nicht.

6.3. Was bewirkt das Zusammenspiel beider Einflüsse?

Betrachtet man nun beide zuvor beschriebenen Fehlereinflüsse nicht mehr getrennt voneinander, sondern zusammen, so ist ein Ausgleich oder ein Aufaddieren der Fehler, bezogen auf die Teilflächen, möglich.

$$\text{Fehlereinfluss} = \text{Fehlereinfluss „graphische Flurkarte“} + \text{Fehlereinfluss GNSS-Messung}$$

Güntersleben:

Flst. Nr. des betreffenden Flurstücks	Fehlereinfluss der "graphischen" Flurkarte	Fehlereinfluss der GNSS-Messung	Fehlereinfluss der "graphischen" Flurkarte + GNSS-Messung
	(m ²)	(m ²)	(m ²)
4508	8	-25	-17
4509	17	-63	-46
4510	10	-20	-10
4511	-36	-19	-55
4512	-43	-8	-51
4513	43	40	83
Summe	-1	-95	-96

Tabelle 43: Fehlereinfluss „graphische“ Flurkarte + GNSS-Messung in Güntersleben

Erlach:

Flst. Nr. des betreffenden Flurstücks	Fehlereinfluss der "graphischen" Flurkarte	Fehlereinfluss der GNSS-Messung	Fehlereinfluss der "graphischen" Flurkarte + GNSS-Messung
	(m ²)	(m ²)	(m ²)
2339	-45	22	-23
2340	44	-74	-30
2341	1	-93	-92
2342	1	-56	-55
2337	0	-1	-1
Summe	0	-201	-201

Tabelle 44: Fehlereinfluss „graphische“ Flurkarte + GNSS-Messung in Erlach

Fazit:

Es ist zu erkennen, dass die Genauigkeit der Flurkarte als auch die der GNSS-Messung gleichermaßen den Gesamtfehler beeinflussen. Eine Systematik diesbezüglich ist nicht erkennbar. Die Gründe dafür liegen in den mit zufälligen Fehlern behafteten GNSS-Punkten (vgl. hierzu 5.3). Auch die „graphische“ Flurkarte weist je nach Messgebiet eine unterschiedliche Genauigkeit auf (vgl. hierzu 5.2).

Daraus folgt, dass es bei der Aufteilung des Fördergebietes (Teilflächen) zwangsläufig zu Ungerechtigkeiten (zu kleine Teilfläche / zu große Teilfläche) kommt.

Betrachtet man jedoch die Größe der Differenz, bezogen auf die Gesamtfläche, so ist diese verhältnismäßig klein. Im Falle Güntersleben beträgt der Fehleranteil circa 2 %, in Erlach etwa 5 % der Gesamtfläche. Da in unserem Fall sehr kleine Gesamtflächen aufgemessen wurden, kann nicht zwangsläufig davon ausgegangen werden, dass bei wesentlich größeren Förderflächen (maximal 5 Hektar) der Fehleranteil ebenfalls bei circa 5 % liegt. Legt man diesen jedoch zugrunde, ergibt sich bei einer Fläche von 5 Hektar ein Gesamtfehler von 2500 m². Dies entspricht bei einer Förderung von 1000 Euro pro Hektar 250 Euro. Dementsprechend ist aus ökonomischen Gesichtspunkten keine präzisere Bestimmung der Förderflächen nötig

7. Kommentar

Die „graphische“ Flurkarte (DFK) weist in beiden Messgebieten maximale lineare Abweichungen von $\pm 1,58$ m auf. Folglich liegen die Abweichungen innerhalb der „Grenzwerte“ (mittlerer Punktfehler von $\pm 0,5$ bis $\pm 2,2$ m) unserer theoretischen Genauigkeitsanalyse.

Ferner zeigen die Durchgeführten Untersuchungen, dass sich Standardabweichungen der aufgenommenen GNSS-Handheld-Punkte von etwa $\pm 3,5$ m ergeben. Das entspricht unseren Erwartungen, betrachtet man die Ergebnisse aus Teil A dieser Diplomarbeit. Das Ergebnis weicht somit deutlich von der genannten Genauigkeit der Forstverwaltung ($\pm 1,5$ m) ab. Daraus folgt auch, dass die GNSS-Handheldmessung keine höhere Genauigkeit als die digitalisierte Flurkarte (in unserem Fall: einfache Standardabweichung circa $\pm 0,8$ m) aufweist. Somit ist es praktisch nicht relevant ob nun eine „digitalisierte Flurkarte“ oder „numerische Flurkarte“ den Teilflächenberechnungen zugrunde liegt.

Betrachtet man den Zweck der GNSS-Messung im Forst, so bildet diese im Vergleich zum Aufwand, wie sie eine „geodätische“ Messung darstellt, eine quantitative und wirtschaftliche Lösungsvariante. Somit stellt die GNSS-Messung im Forst ein zweckmäßiges und rentables Instrument zur Förderflächenermittlung/-kontrolle dar.

Soll eine Genauigkeitssteigerung der GNSS-Messung erreicht werden, so muss eventuell auf einen anderen Korrekturdatendienst zurückgegriffen werden. Wie die Untersuchungen im Teil A zeigen, wäre die Nutzung des Handheldgerätes in Verbindung mit dem Dienst SAPOS EPS/HEPS eine gute Variante.

Für die Zukunft wäre eine Differenzierung der verschiedenen Grenzen und Grenzpunkte (g-Koordinate/d-Koordinate) im GIS angebracht, da hiermit eine bessere Plausibilitätskontrolle der GNSS-Messung gewährleistet werden kann.

Auch an dieser Stelle muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass alle aufgeführten Ergebnisschilderungen alleinig auf unseren Messungen beruhen und somit streng genommen nur für die beschriebenen Testgebiete gelten. Aufgrund der guten Ergebnisübereinstimmung ist jedoch davon auszugehen, dass das Ergebnis Allgemeingültigkeitscharakter im Großraum Würzburg besitzt.

Danksagung

An erster Stelle wollen wir uns bei den betreuenden Professoren, Herrn Prof. Dr. Egredner und Herrn Prof. Dr. Hollmann, für die gute Betreuung während der Diplomarbeit und die Herstellung der Kontakte zur Forstverwaltung bedanken.

Ein weiteres Dankeschön gilt Frau Bockenheimer, die immer ein offenes Ohr für unsere Fragen bezüglich der Aufmessung von Förderflächen in der Forstverwaltung hatte und es uns ermöglichte das Topcon Handheldgerät GSM-2 inklusive BEACON-Empfänger, auszuleihen und in unsere Tests mit einzubeziehen.

Außerdem wollen wir Herrn Scharvogel für die Einführung in die Feldstückskontrolle der Landwirtschaftsverwaltung Dank sagen.

Ebenso geht ein Dank an das Vermessungsamt Würzburg, hier insbesondere an Herrn Schle-reth, für die Bereitstellung aller benötigten Daten und Unterlagen sowie Herrn Schubert, für die Einweisung in die Bildung von Feldstücken.

Weiterhin wollen wir uns bei Herrn Greiner und Herrn Huml, für die Beantwortung unserer Fragen bezüglich der verwendeten Software, Geobasisdaten und des Messverfahrens am Amt für Landwirtschaft und Forsten, bedanken.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Zimmermann für die schnelle Bereitstellung von Informationen zum RTCA DO 229-C Datenformat.

Ferner geht ein Dank Herrn Dipl. Ing. Freitag vom LVG und Herrn Wagner von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung für die Bereitstellung der Informationen zu den Korrekturdatendiensten SAPOS HEPS/EPS sowie BEACON.

Zuletzt sei all jenen gedankt, die hier nicht namentlich genannt sind, deren Hilfe zum Gelingen der Diplomarbeit aber unerlässlich war.

Glossar

- Brouillon [1.1]:

„Brouillons sind unmittelbar auf dem Feld erstellte Handzeichnungen mit Maßangaben über das aufgenommene Detail. Neben den Brouillons, die in Heftform geführt wurden, gibt es auch Brouillons, die anlässlich der Liquidationsmessungen sowie der Reklamationsmessungen gefertigt wurden. Diese sind in den Grundakten bzw. in den Reklamations-Ummessungs-Operaten enthalten.“

- Dop/Pdop [1.6]:

„Eine Beschreibung des rein geometrischen Beitrags zur Unsicherheit im Position-Fixing. Der DOP (Dilution of precision)-Faktor ist ein Indikator für die geometrische Güte der Satellitenkonstellation zum Zeitpunkt der Messung. Standardbegriffe im Umfeld von GPS sind:

- GDOP – dreidimensionale Koordinate (3D) plus Uhrenoffset
- PDOP – dreidimensionale Koordinate (3D)
- HDOP – zweidimensionale horizontale Koordinate (2D)
- VDOP – nur Höhe
- TDOP – nur Uhrenoffset
- HTDOP – Horizontalposition und Zeit“

- eGMS sync

Programm zur Synchronisierung von Daten zwischen PC und GNSS-Handheldgerät

- Feldstück

Ein Feldstück ist eine zusammenhängende, landwirtschaftlich genutzte Fläche. Das Feldstück kann aus einem oder mehreren Flurstücken sowie Flurstücksteilen bestehen und mit mehreren Kulturarten bestellt sein.

- FKP [1.3]:

„Der Rover sendet seine Position in die SAPOS[®] - Zentrale (NMEA GGA - Format) und wird der nächstgelegenen realen Referenzstation als so genannter Masterstation zugewiesen. Zusätzlich zu den Daten dieser Masterstation erhält der Rover die so genannten Flächenkorrekturparameter FKP. Die FKP sind die im Umkreis der Masterstation gültigen linearen Interpolationskoeffizienten der entfernungsabhängigen Fehler und werden in der Zentrale durch die Vernetzungssoftware berechnet.“

- GPRS [1.2]:

„Ein Verfahren zur paketorientierten Datenübertragung in GSM-Netzen. Dazu werden Daten in Pakete eingeteilt und versendet. Die Mobilfunkgeräte bleiben ständig online, abgerechnet wird nach Datenvolumen. Die max. theoretische Datenrate in GPRS ist 171 kbit/s, die jedoch nicht immer erreicht werden kann. Dank GPRS können die Nutzer den ganzen Tag über mit dem Internet in Verbindung bleiben, die Anbieter berechnen statt der Online-Minuten das übertragene Datenvolumen. Die Einführung von GPRS ist der erste direkte Schritt zu UMTS.“

- GSM [1.2]:

„GSM ist der aktuelle Standard für digitale, zellulare Mobilfunknetze weltweit. GSM wird als zweite Generation - nach dem analogen Mobilfunk im A-, B- oder C-Netz - bezeichnet. Er ermöglicht Sprach- und Datenkommunikation sowie eine Menge anderer Dienstmerkmale. Als erstes digitales Mobilfunknetz bietet es ein Protokoll für eine sehr gute Übertragungsqualität und kann zudem mit einem einzigen mobilen Endgerät (meist einem Handy) nahezu weltweit unter einer Rufnummer genutzt werden. Neben der Sprachübertragung kann man im GSM-Netz Faxe versenden, Daten austauschen und im Internet surfen. GSM verwendet zur Übertragung verschiedene Frequenzen: GSM 1800 (1800 MHz), GSM 900, in den USA GSM 1900. Nachfolger von GSM wird UMTS sein.“

- Lithographiestein /Solnhofersteinplatten

Feinporiger Kalkstein, auf dem die Flurkarte seitenverkehrt eingraviert wurde. Mit Hilfe des Flachdruckverfahrens erfolgte die Vervielfältigung der Karten.

- MAC [1.3]:

„Das Master Auxiliary Concept wurde in der RTCM 3.1 Network Message standardisiert. Der Rover erhält:

1. vollständige Beobachtungen der nächstgelegenen Referenzstation als Masterstation
2. Beobachtungen von 5 umgebenden Stationen als Auxiliary - Stationen („Hilfsstationen“) alle 10 Sekunden in Form von „Geometric and Ionospheric Correction Differences“ zur Einsparung von Datenvolumen.

Alle Beobachtungen (Master und Auxiliary) sind vorher in der Zentrale auf ein Mehrdeutigkeitsniveau gebracht worden. Die Modellierung der entfernungsabhängigen Fehler und deren Korrektur für die Roverposition werden vollständig auf die Roverseite verlagert.“

- Ntrip [1.8]:

„Ntrip ist ein vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, Frankfurt am Main) und der Universität Dortmund entwickeltes Verfahren zur Bereitstellung von GNSS-Korrekturdatenströmen über das Internet. Dabei wird das Protokoll HTTP 1.1 verwendet, in welches die Datenströme eingebettet werden. Ntrip ist von der Funktionsweise den zahlreichen im Internet angebotenen Streaming-Diensten, wie z. B. Internet-Radio, ähnlich.“

„Laut AdV-Beschluss ist Ntrip neben GSM als zweite SAPOS[®]-Standard-Pflicht eingeführt.“

- Post Processing [1.2]:

dt.: Nachberechnung

„Der Vorgang von Berechnungen, die nicht im Real-time-Modus erfolgen, bei der die vorher aufgezeichneten GPS-Daten später ausgewertet und berechnet werden.“

- Reichenbachsche Distanzmesser [1.4]:

„Der Reichenbachsche Distanzmesser, in der Kippregel, dem Tachymeter und andern Fernrohrinstrumenten angewendet, besteht aus einer auf dem zu ermittelnden Fernpunkt womöglich senkrecht zur Fernrohrachse zu stellenden Maßstabplatte und einem im Fernrohr selbst im gemeinsamen Brennpunkt des Okular- und des Objektivglases angebrachten Visierkreuz mit einem vertikalen und zwei oder drei horizontalen Fäden oder Strichen. Beim Ansehen der Latte durch das Fernrohr beobachtet man die Anzahl der Maßteile der Latte zwischen den beiden Fäden oder Strichen und findet daraus mittels eines für das Instrument konstanten Faktors die Distanz des Lattenpunktes.“

- Repetitionstheodolit [1.5]:

„Der Theodolit (Herkunft von englisch the „alhidade“, von arabisch al idhâdah „Zeige-/ Teilkreis“) ist ein Winkelmessinstrument. Es wird in der Geodäsie (Vermessungskunde) zur Messung von Horizontalrichtungen und Zenit- oder Vertikalwinkel eingesetzt. Hierzu wird er mittels eines Stativs über einem Punkt lotrecht aufgestellt.“

Beim Repetitionstheodolit ließ sich durch Addition von Winkeln die Messgenauigkeit erhöhen.

- Shape-File [1.2]:

„Von der Firma ESRI eingeführtes Format für Geodaten. Neben der shp-Datei zur Speicherung der Geometriedaten wird eine .shx-Datei zur Speicherung der Indexinformation für die Geometrie und eine .dbf-Datei zur Speicherung der Sachdaten gleichzeitig erzeugt.“

- SSF-Datei:

Daten-Format, in dem die Beobachtungen des Trimble GeoXT gespeichert und exportiert werden.

- UMTS [1.2]:

„Zukünftiger Standard bei Handys, um Internetdienste und multimedialen Dokumentenaustausch zu integrieren. Das UMTS soll das jetzige GSM-System ablösen. UMTS sieht zwei Kernkomponenten vor: Funknetz und Trägernetz. Das Funknetz besteht aus den Mobilgeräten und der Basisstation, zwischen denen per Funkübertragung kommuniziert wird. Das Trägernetz verbindet die Basisstationen untereinander und schafft Verbindungen zum ISDN-Netz und ins Internet. Eine Bandbreite von 5 MHz und ein spezielles Übertragungsverfahren (CDMA, Code Division Multiple Access) sollen die Übertragungsrate auf 2 MBit/s erhöhen. Das UMTS-Funknetz ist in hierarchische Versorgungsebenen unterteilt, die unterschiedliche Transferegeschwindigkeiten zulassen. Makroebene: mindestens 144 KBit/s bei einer maximalen Bewegungsgeschwindigkeit des Endgerätes von 500 km/h zum Beispiel im ICE. Mikroebene: 384 KBit/s bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von maximal 120 km/h. Pikozone: 2 MBit/s bei maximal 10 km/h. UMTS ist damit bis zu 30mal schneller als ISDN (64 KBit/s) und bis zu 200mal schneller als heutige GSM-Handys (9,6 KBit/s). Daneben unterstützt es verschiedene Transportprotokolle, etwa WAP und GSM.“

- VRS [1.3]:

„Der Rover sendet seine Position in die SAPOS[®] - Zentrale (NMEA GGA - Format). Die Vernetzungssoftware generiert für diese Position einen RTCM – Datenstrom ausgehend von der nächstgelegenen Referenzstation (Masterstation) und dem Fehlermodell der Vernetzung. Für den Rover scheinen die RTCM – Daten von einer wenige Meter entfernten Referenzstation zu kommen.“

- 1 Schritt-Transformation [1.7]:

„Diese Transformationsmethode unterscheidet zwischen einer Höhen- und einer Lage-transformation. Für die Lage-transformation werden die WGS84 Koordinaten vorübergehend auf eine Transversale Mercator Projektion verebnet und anschliessend die Verschiebungen, Rotationen und der Massstabsfaktor von der temporären Projektion auf die "reale" Projektion umgerechnet.“

Quellen (Glossar):

[1.1] www.by-bayern.de/katasterwiki/doku.php#brouillon

[1.2] www.geoinformatik.uni-rostock.de/lexikon.asp

[1.3] <http://sapos.bayern.de>

[1.4] www.retrobibliothek.de/retrobib/seite.html?id=111218

[1.5] de.wikipedia.org/wiki/Theodolit

[1.6] Einführung in die GPS Vermessung (Leica Basics) [26]

[1.7] Leica Geomatics Office (LGO Hilfe)

[1.8] www.lvermgeo.rlp.de/lv/produkte/sapos/ntrip.html

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prinzip der Laufzeitmessung [26]	12
Abb. 2: Prinzip der Phasenmessung [27]	13
Abb. 3: Prinzip des „Absolut“ GNSS [27]	14
Abb. 4: Prinzip des DGNSS [27]	15
Abb. 5: Skizze Funktionsweise [2]	16
Abb. 6: Prinzip der RTCM SC-104 -Korrekturdaten Anwendung [27]	18
Abb. 7: Prinzip der Anwendung des RTCA DO-229C Formats [27]	21
Abb. 8: SBAS Versorgungsgebiete / SBAS Satelliten [27]	24
Abb. 9: Prinzip von SBAS [27]	26
Abb. 10: BEACON Referenzstationen und deren Abdeckung [28]	27
Abb. 11: Bild eines BEACON Korrektursenders [29]	28
Abb. 12: Übersicht über die Verteilung der SAPOS-Referenzstationen in Bayern [8]	29
Abb. 13: Prinzip der Positionierung mit Hilfe von SAPOS [1]	29
Abb. 14: Trimble GeoXT [10]	35
Abb. 15: Leica GS20 [11]	36
Abb. 16: Topcon GMS-2 [12]	36
Abb. 17: Magellan MobileMapper CX [13]	37
Abb. 18: Gesamtüberblick (rot eingegrenzte Flächen stellen die Messgebiete dar) [31]	40
Abb. 19: Lage der einzelnen Messpunkte (mit Abschattung) [32]	40
Abb. 20: Messpunkt „freie Lage“ [32]	41
Abb. 21: „Satellitenloch“ in Würzburg [30]	41
Abb. 22: Prinzipskizze Holzteil mit GeoXT	45

Abb. 23: unkorrigiert GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (oben rechts), Messung 3 (unten rechts)	49
Abb. 24: unkorrigiert GMS-2; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	50
Abb. 25: EGNOS GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	51
Abb. 26: SAPOS EPS GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	52
Abb. 27: EPS Trimble 5800; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	52
Abb. 28: BEACON Trimble GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	53
Abb. 29: BEACON Topcon GMS-2; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	54
Abb. 30: VRSnow GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	55
Abb. 31: SAPOS HEPS GeoXT; Messung 1 (links), Messung 2 (rechts)	55
Abb. 32: Darstellung der absoluten und relativen linearen Abweichung auf dem Punkt „freie Lage“	58
Abb. 33: Darstellung der Abstandsintervalle auf dem Punkt „freie Lage“	58
Abb. 34: Beispiel für Abschirmung im Südosten (Draufsicht)	60
Abb. 35: Ost mit (links)/ohne (rechts) Belaubung	61
Abb. 36: Ost unkorrigiert mit Belaubung, M 1:125	62
Abb. 37: Ost EGNOS mit Belaubung, M 1:150	63
Abb. 38: Ost VRSnow mit Belaubung, M 1:125	63
Abb. 39: Ost unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:125	62
Abb. 40: Ost EGNOS ohne Belaubung, M 1:150	63
Abb. 41: Ost VRSnow ohne Belaubung, M 1:125	63
Abb. 42: Ost EPS ohne Belaubung, M 1:150	64
Abb. 43: Ost BEACON ohne Belaubung, M 1:125	65

Abbildungsverzeichnis	b
Abb. 44: Südost mit Belaubung	67
Abb. 45: Südost ohne Belaubung	67
Abb. 46: Südost unkorrigiert mit Belaubung, M 1:150	68
Abb. 47: Südost VRSnow mit Belaubung, M 1:125	69
Abb. 48: Südost unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:150	68
Abb. 49: Südost VRSnow ohne Belaubung, M 1:125	69
Abb. 50: Südost EPS ohne Belaubung, M 1:125	70
Abb. 51: Südost BEACON ohne Belaubung M 1:150	70
Abb. 52: Süd mit Belaubung	72
Abb. 53: Süd ohne Belaubung	72
Abb. 54: Süd unkorrigiert mit Belaubung, M 1:125	73
Abb. 55: Süd EGNOS mit Belaubung, M 1:125	74
Abb. 56: Süd VRSnow mit Belaubung, M 1:125	74
Abb. 57: Süd unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:125	73
Abb. 58: Süd EGNOS ohne Belaubung, M 1:125	74
Abb. 59: Süd VRSnow ohne Belaubung, M 1:125	74
Abb. 60: Süd EPS ohne Belaubung, M 1:125	75
Abb. 61: Süd BEACON ohne Belaubung M 1:125	75
Abb. 62: Südwest mit Belaubung	77
Abb. 63: Südwest ohne Belaubung	77
Abb. 64: Südwest unkorrigiert mit Belaubung, M 1:150	78
Abb. 65: Südwest VRSnow mit Belaubung, M 1:125	79
Abb. 66: Südwest unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:150	78

Abbildungsverzeichnis	b
Abb. 67: Südwest VRSnow ohne Belaubung, M 1:125	79
Abb. 68: Südwest EPS ohne Belaubung, M 1:125	79
Abb. 69: Südwest BEACON ohne Belaubung, M 1:150	80
Abb. 70: West mit/ohne Belaubung	82
Abb. 71: West unkorrigiert mit Belaubung, M 1:150	83
Abb. 72: West EGNOS mit Belaubung, M 1:150	84
Abb. 73: West VRSnow mit Belaubung, M 1:125	84
Abb. 74: West unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:150	83
Abb. 75: West EGNOS ohne Belaubung, M 1:150	84
Abb. 76: West VRSnow ohne Belaubung, M 1:125	84
Abb. 77: West EPS ohne Belaubung, M 1:150	85
Abb. 78: West EPS ohne Belaubung, M 1:125	85
Abb. 79: Draufsicht Wald_mittel [32]	87
Abb. 80: Wald-mittel mit/ohne Belaubung (Bilder oben-Verlauf in Wegrichtung/unten Verlauf 90° zum Weg)	87
Abb. 81: Wald-mittel unkorrigiert mit Belaubung, M 1:150	88
Abb. 82: Wald-mittel EGNOS mit Belaubung, M 1:150	89
Abb. 83: Wald-mittel VRSnow mit Belaubung, M 1:150	89
Abb. 84: Wald-mittel unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:150	88
Abb. 85: Wald-mittel EGNOS ohne Belaubung, M 1:150	89
Abb. 86: Wald-mittel VRSnow ohne Belaubung, M 1:150	89
Abb. 87: Wald-mittel EPS ohne Belaubung, M 1:125	90
Abb. 88: Wald-mittel BEACON ohne Belaubung, M 1:150	91

Abbildungsverzeichnis	b
Abb. 89: Draufsicht Wald-viel [32]	93
Abb. 90: Wald-viel mit/ohne Belaubung	93
Abb. 91: Wald-viel unkorrigiert mit Belaubung, M 1:150	94
Abb. 92: Wald-viel EGNOS mit Belaubung, M 1:150	95
Abb. 93: Wald-viel VRSnow mit Belaubung, M 1:150	96
Abb. 94: Wald-viel unkorrigiert ohne Belaubung, M 1:150	94
Abb. 95: Wald-viel EGNOS ohne Belaubung, M 1:150	95
Abb. 96: Wald-viel VRSnow ohne Belaubung, M 1:150	96
Abb. 97: Wald-viel EPS ohne Belaubung, M 1:150	97
Abb. 98: Wald-viel BEACON ohne Belaubung, M 1:150	97
Abb. 99: Volumen der Schnittfigur am Beispiel Südost	101
Abb. 100: Prinzip der Messtischaufnahme [33]	106
Abb. 101: Prinzipskizze Transformation	108
Abb. 102: Prinzip der Helmerttransformation (Ähnlichkeitstransformation)	109
Abb. 103: Prinzip der Affintransformation	110
Abb. 104: Topcon BEACON-Korrekturdatenempfänger	114
Abb. 105: Gebietsübersicht von Güntersleben [31]	121
Abb. 106: Bewuchs des Messgebietes in Güntersleben	121
Abb. 107: Gebietsübersicht von Erlach [31]	122
Abb. 108: Bewuchs des Messgebietes in Erlach	122
Abb. 109: Vergefundene Grenzsteine in Erlach	124
Abb. 110: Grenzsteine in Güntersleben	124
Abb. 111: Skizze vom Polygonzug in Erlach	127

Abbildungsverzeichnis	b
Abb. 112: Beispiel für einen kartenidentischen Punkt, hier Grenzstein 50015 in Erlach	127
Abb. 113: Lage der 4 Passpunkte die zur Transformation der 4 GNSS-Punkte dienen	129
Abb. 114: Ergebnis der Stationierung in Güntersleben	130
Abb. 115: graphischer Vergleich in Güntersleben (Abschnitt 5.2.), Maßstab ca. 1:1300, Restklaffen 10-fach überhöht dargestellt	141
Abb. 116: graphischer Vergleich in Erlach (Abschnitt 5.2.), Maßstab ca. 1:1300, Restklaffen 10-fach überhöht dargestellt	141
Abb. 117 : graphischer Vergleich in Güntersleben (Abschnitt 5.3.), Maßstab ca. 1:1300, Restklaffen 10-fach überhöht dargestellt	147
Abb. 118: graphischer Vergleich in Erlach (Abschnitt 5.3.), Maßstab ca. 1:1300, Restklaffen 10-fach überhöht dargestellt	147
Abb. 119: Prinzip der Schnittbildung	148
Abb. 120: Kopie des Originalausdruckes von den sich ergebenden Teilflächen in Güntersleben	150
Abb. 121: Kopie des Originalausdruckes von den sich ergebenden Teilflächen in Erlach	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messagetypen des RTCM 2.1	19
Tabelle 2: zusätzliche Messagetypen RTCM 2.3	19
Tabelle 3: Intervalle der geschätzten Standardabweichung der UDRE [4]	20
Tabelle 4: Zuordnung der PRN-Maske [4]	22
Tabelle 5: Zuordnung der Indikatorwerte (UDREI) zu den geschätzten Fehlern der differenziellen Korrekturen (UDRE) [4]	23
Tabelle 6: Art der Korrektur	25
Tabelle 7: Technische Details zu BEACON [6]	27
Tabelle 8: SAPOS Bayern angebotene Formate [8]	31
Tabelle 9: Vergleich der Korrekturdatendienste	32
Tabelle 10: Vergleich GNSS Navigationsempfänger	34
Tabelle 11: Vergleich ausgewählter Handheldgeräte (Herstellerangaben)	38
Tabelle 12: Gegenüberstellung „freie Lage“	58
Tabelle 13: Vergleich Ost mit Belaubung	66
Tabelle 14: Vergleich Ost ohne Belaubung	66
Tabelle 15: Vergleich Südost mit Belaubung	71
Tabelle 16: Vergleich Südost ohne Belaubung	71
Tabelle 17: Vergleich Süd mit Belaubung	76
Tabelle 18: Vergleich Süd ohne Belaubung	76
Tabelle 19: Vergleich Südwest mit Belaubung	81
Tabelle 20: Vergleich Südwest ohne Belaubung	81
Tabelle 21: Vergleich West mit Belaubung	86

Tabellenverzeichnis	c
Tabelle 22: Vergleich West ohne Belaubung	86
Tabelle 23: Vergleich Wald-mittel mit Belaubung	92
Tabelle 24: Vergleich Wald-mittel ohne Belaubung	92
Tabelle 25: Vergleich Wald-viel mit Belaubung	98
Tabelle 26: Vergleich Wald-viel ohne Belaubung	98
Tabelle 27: Erreichte Mittelwerte	100
Tabelle 28: Zusammenstellung der Korrekturdatendienste „mit“ und „ohne“ Belaubung	102
Tabelle 29: Restklaffen der lokalen Einpassung durch Transformation	129
Tabelle 30: Ergebnis Helmertrtransformation (Abschnitt 5.2.)	138
Tabelle 31: Ergebnis Affintransformation Güntersleben (Abschnitt 5.2.)	139
Tabelle 32: Vergleich der Transformationen von Güntersleben (Abschnitt 5.2.)	141
Tabelle 33: Vergleich der Transformationen von Erlach (Abschnitt 5.2.)	141
Tabelle 34: Vergleich ohne Transformation (Abschnitt 5.3.)	143
Tabelle 35: Ergebnis Helmertrtransformation (Abschnitt 5.3.)	144
Tabelle 36: Ergebnis Affintransformation (Abschnitt 5.3.)	145
Tabelle 37: Vergleich der Transformationen von Güntersleben (Abschnitt 5.3.)	147
Tabelle 38: Vergleich der Transformationen von Erlach (Abschnitt 5.3.)	147
Tabelle 39: Fehlereinfluss "graphische" Flurkarte in Güntersleben	153
Tabelle 40: Fehlereinfluss „graphische“ Flurkarte in Erlach	153
Tabelle 41: Fehlereinfluss GNSS-Messung in Erlach	155
Tabelle 42: Fehlereinfluss GNSS-Messung in Erlach	155
Tabelle 43: Fehlereinfluss „graphische“ Flurkarte + GNSS-Messung in Güntersleben	156
Tabelle 44: Fehlereinfluss „graphische“ Flurkarte + GNSS-Messung in Erlach	156

Bibliografie

- [1] Hollmann, R. (2008): Satellitengestützte Verfahren/Vorlesungsskript V 1.00.
- [2] Kettemann, R. (2003): GPS-Verfahren-Einsatzgebiete-Rahmenbedingungen-Kombinationslösungen. www.fht-stuttgart.de (Vermessung und Geoinformatik, Veranstaltungen, Rückblicke, 2003, Tagungsbandberichte/Vorträge). Abruf: 07.10.2008.
- [3] Bagge, A. (2001): DGPS-Datenformate 2.0. www.geopp.de (Publikationen, Publikationen von Geo++, GNSS Echtzeit-Anwendungen). Abruf: 30.12.2008.
- [4] Zimmermann, J. (2006): Untersuchungen zur Integrität von GPS-Korrekturdaten in Echtzeit. Diplomarbeit, TU Dresden. S.43-52.
- [5] Müller, D. (2004): Untersuchungen zur Nutzung von EGNOS und GPS. Diplomarbeit, FH Mainz.
- [6] Hoppe, M. (2006): Technische Daten, Systemparameter und Aufbau der DGPS Referenzstationen nach IALA Standard. www.fvt.wsv.de (DGPS Satellitennavigation, Weitere Technische Informationen, Technische Details). Abruf : 21.11.2008.
- [7] SAPOS / Unbekannter Autor (2004): Grundlagen. www.sapos.de (Informationen, SAPOS-Heft). Abruf: 12.11.2008.
- [8] SAPOS Bayern / Unbekannter Autor (2009): Grundlagen. Sapos.bayern.de (Gastzugang, Informationen/Stationskarte). Abruf: 12.01.2009.
- [9] Trimble Navigation Limited / Unbekannter Autor (2009): Trimble VRSnow. global.trimble.com/de (Produkte & Lösungen, Trimble GPS/GNSS, VRS Now Deutschland, Subscribe Now). Abruf: 02.02.2009.
- [10] Trimble Kartierung und GIS / Unbekannter Autor (2009): Trimble Kartierungs- und GIS-Produkte. global.trimble.com/de (Produkte & Lösungen, Kartierung und GIS, Prospektmaterial). Abruf: 02.02.2009.
- [11] Leica Geosystems / Unbekannter Autor (2009): GPS/GIS Datenerfassung. www.leica-geosystems.com/de (Produkte, GNSS/GPS Systeme, GPS/GIS Datenerfassung, Leica GSM 20 PDM). Abruf: 26.01.2009.

- [12] Topcon Europe Positioning / Unbekannter Autor (2009): GIS. www.topcon-positioning.eu (GIS, GSM-2). Abruf: 15.01.2009.
- [13] Magellan GPS / Unbekannter Autor (2009): Mobile Mapping. www.magellangps.com (Produkte, Professional Products, Mobile Mapping, MobileMapper CX). Abruf: 10.01.2009
- [14] Heine, E.; Gasch, J. (2008): Navigation mit GPS-Empfängern unterschiedlicher Konzeption auf Waldstraßen. In: Strobl/Blaschke/Griesebner (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2008, Wichmann Verlag, Heidelberg, S.18-27.
- [15] Korth, W.; Resnik, B. (2005): Mobile Geodatenerfassung mit Handheld-GPS-Empfängern – Probleme und Lösungsansätze. www.uibk.ac.at/geodaesie (Internationale Geodätische Woche Obergurgl, Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2005). Abruf: 15.10.2008.
- [16] Fischer, E. (2006): Liegenschaftskataster/ Vorlesungsskript.
- [17] Ziegler, T. (1993): Der König ließ messen sein Land. Deutscher Verein für Vermessungswesen, Landesverein Bayern e.V., München.
- [18] Professur für Geodäsie und Geoinformatik Uni Rostock / Unbekannter Autor (2002): Digitalisierung. www.geoinformatik.uni-rostock.de (GI-Lexikon, Digitalisierung, Bedeutung 3.). Abruf: 04.01.2009.
- [19] Dengelmann, I.; Kollmuß, H. (2004): 195 Jahre Katasterkartographie am Bayerischen Landesvermessungsamt – eine Ära ist zu Ende. www.dvw-bayern.de (Fachzeitschriften, Mitteilungen, 2004 (56.Jahrgang), Heft 1). Abruf: 05.01.2009.
- [20] Glasner, U. (2001): Genauigkeitsuntersuchung einer Digitalen Flurkarte. Diplomarbeit, FH Würzburg-Schweinfurt.
- [21] Müller, W. (2007): Ausgleichsrechnung II/ Vorlesungsskript.
- [22] Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Richtlinie) (2007): Richtlinie für Zuwendungen zu waldbaulichen Maßnahmen im Rahmen eines forstlichen Förderprogramms (WALDFÖPR 2007). www.forst.bayern.de (Für den Waldbesitzer, Downloads und Informationen, Förderung waldbaulicher Maßnahmen). Abruf: 10.02.2009.

- [23] Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Anlage) (2007): Anlage zur WALDFÖPR 2007-Förderhöchstsätze. www.forst.bayern.de (Für den Waldbesitzer, Downloads und Informationen, Förderung waldbaulicher Maßnahmen). Abruf: 10.02.2009.
- [24] Greiner, P. (2009): e-mail Protokoll. Stand: 25.02.2009.
- [25] Bockenheimer, I. (2008): mündliche Auskunft. Protokoll, Stand: 25.09.2008.
- [26] Leica Geosystems GmbH Vertrieb / Unbekannter Autor (2000): Einführung in die GPS-Vermessung Version 1.0. www.leica-geosystems.com/de (Support-Service, Downloads,GPS). Abruf: 07.10.2008.
- [27] Zogg, J.M. (2003): GPS Grundlagen User's Guide. Hrsg.: u-blox AG, Thalwil
- [28] Rink, W. (2006): Wasserstraßenbezogene Bedeckungsbereiche der DGPS-Referenzstationen nach IALA Standard in der WSV. www.fvt.wsv.de (DGP Satellitennavigation, weitere technische Informationen). Abruf: 12.12.2008.
- [29] Hoppe, M. (2007): IALA-DGPS Referenzstation Bad Abbach - Signalausbreitung und Nutzreichweiten -. www.fvt.wsv.de (DGPS Satellitennavigation, DGPS Station Bad Abbach). Abruf: 12.12.2008.
- [30] Trimble Planning Version 2.7.
- [31] Bayerische Vermessungsverwaltung (2008): BayernViewer. www.geodaten.bayern.de (BayernViewer) Abruf: 10.10.2008.
- [32] Google Maps Deutschland (2008): Google Maps. www.google.de (Maps). Abruf: 10.10.2008.
- [33] Bayerische Vermessungsverwaltung (2009): Messtischaufnahme. www.geodaten.bayern.de (Grenzvermessung, Anfänge der Grenzvermessung in Bayern). Abruf: 03.01.2009.

Anhang

Der gesamte Anhang der Diplomarbeit befindet sich auf CD-ROM. Dieser ist nach Kapiteln gegliedert die dem des Inhaltsverzeichnisses der Diplomarbeit entsprechen. D.h. sofern ein Anhang zu einem Kapitel dieser DA vorhanden ist, findet sich dieser unter dem entsprechenden Kapitel auf der CD-ROM.