



**Hochschule Neubrandenburg  
Studiengang Vermessungswesen**

**Messtechnische Verfahren für die  
Leitungsbestandsdokumentation eines  
Versorgungsunternehmens**

**Diplomarbeit**

vorgelegt von: *Babett Falge*  
geboren am: 20.10.1981

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. (CDN) E.T. Knickmeyer

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. (FH) S. Zech

Abgabe: Juli 2008

## Diplomarbeitsthema

### **Messtechnische Verfahren für die Leitungsbestandsdokumentation eines Versorgungsunternehmens**

Zur Bestandsdokumentation von ober- und unterirdischen Versorgungsleitungen müssen diese Leitungen mit geeigneten Verfahren geortet werden. Die geforderte Genauigkeit hängt von der Art der Versorgungsleitung ab. Im Zusammenhang mit Verfahren nach dem Grundbuchbereinigungsgesetz sind die Anforderungen höher.

Aufgabe dieser Diplomarbeit ist es, messtechnische Verfahren auf ihre Eignung für die Erfassung und Absteckung von Versorgungsleitungen hin zu überprüfen. Hierbei soll der Schwerpunkt auf GPS-Handempfängern liegen. Die Arbeit soll in eine Geräte- und Technologieempfehlung münden.

Im Einzelnen sind dabei unter anderem folgende Aufgaben zu lösen:

- Überblick über den Einsatz von Leitungsortungssystemen bei Strom-, Wasser-, Abwasser- und Gasleitungen
- Vergleich der jeweiligen Leitungsortungssysteme hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile
- Motivation des Einsatzes von GPS-Handempfängern
- Erstellung eines Anforderungsprofils für einen GPS-Handempfänger
- Vergleich von mindestens drei verschiedenen Systemen auf der Basis einer zu entwickelnden einheitlichen Testumgebung. Hier soll u. a. überprüft werden, welche Genauigkeit unter verschiedenen Randbedingungen erreicht werden kann. Die Zuverlässigkeit und Resistenz gegen verschiedene Fehlerquellen sowie die Wirtschaftlichkeit der Systeme sollen überprüft und verglichen werden.
- Formulierung einer Geräte- und Technologieempfehlung für den Einsatz beim Versorgungsunternehmen

Die Ergebnisse sind in einer Diplomarbeit niederzulegen. Zur Verteidigung der Diplomarbeit ist ein Vortrag von 20 Minuten Dauer zu halten. Die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit sind auf einem Poster im Format DIN A1 darzustellen. Abgabetermin für das Poster ist der Termin der Verteidigung.

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. (CDN) E.T. Knickmeyer

2. Prüfer: Dipl.-Ing. (FH) S. Zech

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen, als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Neubrandenburg, den

---

Babett Falge

## Kurzfassung

In dieser Diplomarbeit werden drei verschiedene GPS-Handempfänger für die Leitungsbestandsdokumentation eines Versorgungsunternehmens verglichen. Jedes Gerät wird vorgestellt und nach folgenden Kriterien bewertet: Genauigkeit, Handhabung, Voraussetzungen, Effizienz, Kosten etc.

Zur Beurteilung der Handempfänger wurde ein einheitliches Testgebiet mit drei unterschiedlichen Abschattungsklassen festgelegt. Am Ende wird eine Geräte- und Technologieempfehlung für den Einsatz beim Versorgungsunternehmen gegeben.

Weiterhin werden verschiedene Methoden der Leitungsortung gegenübergestellt und erprobt. Hierzu wird hinsichtlich des Anwendungsbereiches sowie der Vor- und Nachteile ein Überblick verschafft.

## Abstract

In this thesis you find a comparison of three different GPS-hand-receivers for the documentation of pipes inventory in public utility companies. Each appliance is described and evaluated through the criteria's accuracy, handling, qualification, efficiency and costs. A standardized test-area with three different classes of shadowing effects was defined for the evaluation of the hand-receivers. The result of the test is the recommendation of one hand-receiver and technology, which is the most suitable for the use in public utility companies.

Further different methods of position finding of cables are described, compared and tested. The advantages and disadvantages of application's range are shown at a glance.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Ortungsverfahren .....</b>	<b>10</b>
2.1 Akustische Verfahren .....	10
2.1.1 Impulswellenverfahren .....	10
2.1.2 Körperschallverfahren .....	12
2.2 Elektromagnetische Verfahren .....	13
2.2.1 Physikalische Gesetzmäßigkeiten .....	13
2.2.1.1 Das Magnetfeld .....	13
2.2.1.2 Methoden des Signalempfangs .....	14
2.2.1.3 Bestimmen der Verlegetiefe einer Leitung .....	15
2.2.1.4 Bestimmen der Signalstromstärke einer Leitung .....	16
2.2.2 Passive Ortung .....	17
2.2.3 Aktive Ortung .....	17
2.2.3.1 Leitungsortung durch Magnetfeldbesendung .....	18
2.2.3.2 Leitungsortung mit der Schubsonde .....	19
2.2.3.3 Leitungsortung mit einem magnetfeldsender-bestückten Molch .....	20
2.2.3.4 Leitungsortung mit Bodenradar .....	21
<b>3. GPS – Grundlagen .....</b>	<b>24</b>
3.1 Historische Entwicklung .....	24
3.2 Systembeschreibung .....	25
3.2.1 Das Weltraumsegment .....	25
3.2.1.1 Aufbau der Satelliten .....	25
3.2.1.2 Satellitenkonstellationen .....	26
3.2.2 Das Kontrollsegment .....	27
3.2.3 Das Nutzersegment .....	28
3.3 GPS-Referenzsysteme .....	29
3.3.1 Koordinatensystem .....	29
3.3.2 Zeitsystem .....	30
3.4 Signalstrukturen .....	30
3.4.1 Grundprinzip .....	30
3.4.2 Trägerfrequenzen .....	31
3.4.3 Codes .....	31
3.4.4 Codierung des L <sub>1</sub> - bzw. des L <sub>2</sub> Signals .....	32
3.4.4.1 C/A-Code Modulation .....	32
3.4.4.2 P-Code Modulation .....	33
3.4.4.3 Daten-Modulation .....	33
3.5 Auswertung der Code- und Trägerphasenmessung .....	34
3.5.1 Codemessung .....	34
3.5.2 Trägerphasenmessung .....	35
3.6 Fehlereinflüsse und Genauigkeitsangaben .....	35
3.6.1 Stationsabhängige Fehlereinflüsse .....	35
3.6.1.1 Mehrwegeausbreitung (Multipath) .....	35
3.6.1.2 Signalbeugung .....	36
3.6.1.3 Antennenphasenzentrum .....	36
3.6.1.4 Messrauschen .....	37
3.6.2 Entfernungsabhängige Fehlereinflüsse .....	37
3.6.2.1 Ionosphärische Refraktion .....	38
3.6.2.2 Troposphärische Refraktion .....	38
3.6.2.3 Satellitenbahnfehler .....	39
3.6.2.4 Uhrenfehler .....	39
3.6.3 Genauigkeitsangaben .....	39

---

3.7 Positionierung mit GPS .....	40
3.7.1 Absolute Positionierung .....	40
3.7.2 Relative Positionierung .....	41
3.8 Beobachtungsverfahren .....	42
3.8.1 Statisches Beobachtungsverfahren .....	42
3.8.2 Kinematisches Beobachtungsverfahren .....	43
3.9 Relative GPS-Positionierungen mit einer Referenzstation .....	44
3.9.1 Differentielles GPS (DGPS-Verfahren) .....	44
3.9.2 Real-Time-Kinematic (RTK) .....	45
3.9.3 Post-Processing .....	45
3.10 Datenformate .....	45
3.10.1 RINEX .....	46
3.10.2 RTCM .....	46
3.10.3 NMEA .....	47
3.11 Referenzstationsnetze .....	48
3.11.1 Übertragungsmedium .....	48
3.11.2 Referenzstationsnetz .....	49
3.11.3 GPS- Referenzstationsdienste .....	49
3.11.3.1 SAPOS® .....	49
3.11.3.2 ascos .....	52
3.11.3.3 Beacon (IALA-DGPS) .....	54
3.11.3.4 EGNOS .....	55
<b>4. Modernisierung .....</b>	<b>56</b>
4.1 GPS .....	56
4.2 GLONASS .....	57
4.3 Galileo .....	59
<b>5. Planung, Durchführung und Auswertung der Leitungsleitung .....</b>	<b>63</b>
5.1 Planung der Leitungsleitung .....	63
5.1.1 Auswahl der Ortungsgeräte .....	63
5.1.2 Auswahl eines Leitungsobjekts .....	63
5.2 Durchführung der Leitungsleitung .....	64
5.2.1 Alt Falkenhagen – Stromkabel .....	64
5.2.2 Waren, Nesselberg Waldweg – Trinkwasserleitung .....	65
5.2.3 Waren, Gelände Stadtwerke – Regenentwässerungskanal .....	66
5.3 Erfassung der georteten Leitungen .....	67
5.3.1 Messablauf Alt Falkenhagen .....	68
5.3.2 Messablauf Nesselberg Waldweg .....	71
5.3.3 Messablauf Gelände Stadtwerke .....	72
5.4 Auswertung der georteten Leitung .....	72
5.4.1 Allgemeine Hinweise zur Auswertung .....	72
5.4.2 Auswertung der Messwerte .....	74
Fazit .....	75
<b>6. Planung, Durchführung und Auswertung der GPS-Handempfänger .....</b>	<b>76</b>
6.1 Anforderungsprofil an einen GPS-Handempfänger .....	76
6.2 Empfängerwahl .....	79
6.3 GeoXH von Trimble .....	80
6.3.1 Vorbereitung .....	81
6.3.2 Aufnahme im Post-Processing .....	81
6.3.2.1 Planung der Beobachtungszeit je Punkt .....	82
6.3.2.2 Messablauf .....	84
6.3.2.3 Auswertung der Messergebnisse .....	85
6.3.3 Absteckung in Echtzeit .....	87
6.3.3.1 Messablauf .....	88

---

---

6.3.3.2 Auswertung der Messergebnisse .....	90
Fazit .....	91
6.4 GMS-2 von Topcon .....	92
6.4.1 Vorbereitung .....	93
6.4.2 Messablauf .....	94
6.4.3 Auswertung der Messergebnisse .....	96
Fazit .....	97
6.5 MobileMapperCE von Thales .....	98
6.5.1 Vorbereitung .....	99
Fazit .....	103
<b>7. Betrachtung der GPS-Handempfänger .....</b>	<b>104</b>
7.1 Vergleich GPS-Handempfänger vs. Leitungsortungsgeräte .....	104
7.2. Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von GPS-Handempfänger .....	105
7.3 Vergleich der GPS-Handempfänger .....	106
7.4 Geräteempfehlung .....	109
7.5 Technologiefestlegung für den GeoXH .....	110
7.6 Verweis auf einen Zweifrequenz-Empfänger .....	115
<b>8. Zusammenfassung .....</b>	<b>117</b>
<b>I. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>118</b>
<b>II. Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>120</b>
<b>III. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>121</b>
<b>IV. Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>122</b>
<b>V. Anlagenverzeichnis .....</b>	<b>124</b>
<b>VI. Danksagung .....</b>	<b>152</b>

## 1. Einleitung

Die Stadtwerke Waren GmbH ist ein örtliches Versorgungsunternehmen in der Stadt Waren (Müritz). „Sie erfüllen öffentliche Aufgaben mit unternehmerischen Mitteln. Wirtschaftliches Handeln in eigener unternehmerischer Verantwortung ist die Basis für eine kostengünstige und kundenorientierte Versorgung und Entsorgung.“ [KNIESZ, 2001]

Eine Besonderheit der Stadtwerke Waren GmbH sind die unterschiedlichen Versorgungssparten: Strom, Gas, Trinkwasser und Fernwärme. Demzufolge bezeichnet man diese auch als Spartenunternehmen, das verschiedenen Versorgungsaufgaben in einem Unternehmen betreibt. Daneben befassen sich die Stadtwerke Waren, als Betriebsführungsgesellschaft für den Müritz-/Wasser-/Abwasserzweckverband, mit den Aufgaben der Trinkwasserversorgung und der Abwasserbeseitigung in einem Teilgebiet des Landkreises Müritz.

Im April 1991 wurde die Gründung eines Eigenbetriebes „Stadtwerke Waren“ beschlossen. Nach gut zwei Monaten wurde im Juni der Gesellschaftsvertrag für die „Stadtwerke Waren GmbH“ unterzeichnet. Die Stadtwerke Waren haben ihren Sitz im westlichen Gebiet der Stadt. Sie beschäftigen gegenwärtig 80 Mitarbeiter.

Um andere Anwendungsgebiete der Vermessung kennen zu lernen, absolvierte ich einen Großteil meiner Semesterferien und mein Praktikum bei der Stadtwerke Waren GmbH. Im Laufe meiner Tätigkeit bot mir die Arbeit ein gewisses ungenutztes Potential im Bereich der Vermessung in diesem Unternehmen. Dieser Umstand gab Anlass, mich mit einigen Mitarbeitern der Stadtwerke zusammenzusetzen, um neue Möglichkeiten zur Nutzung dieses Ressorts zu erarbeiten. Am Anfang stand die Überlegung, in welche Richtung sich die Stadtwerke Waren entwickeln wollen. Oberstes Gebot ist die zufriedenstellende Belieferung und Betreuung der Kunden, die im Versorgungsgebiet des Unternehmens liegen.

Um den Kunden ein Optimum an Service und Zuverlässigkeit bieten zu können, verbessern die Stadtwerke Waren stetig ihr Equipment und ihre Methoden zur Erneuerung und Wartung der Versorgungseinrichtungen. In diesem Zuge werden ebenfalls die Zusammenarbeit mit anderen Versorgern und öffentlichen Einrichtungen geknüpft und optimiert. Daraus erwachsen neue Herausforderungen für die Stadtwerke Waren, welche wiederum neue Aufgabengebiete und Technologien fordert und hervorbringt.

Im Zeitalter der digitalen Datenerfassung und deren Verwaltung eröffnete sich für mich genau dieser Bereich als potentielles Aufgabengebiet, um das Wesen der Vermessung für die Aufgabenerfüllung der Stadtwerke Waren einzubringen. Ein wichtiger zukunftsweisender Punkt hierbei ist die Verbesserung und Erweiterung eines Geografischen Informationssystems (GIS), welches bereits in dem Unternehmen genutzt wird. Um eine solche Datenbank in hoher Qualität zu erweitern, ist es nötig, Daten mit entsprechender Genauigkeit zu sammeln, auszuwerten und in das GIS zu überführen. Im Sammeln und Auswerten von Daten liegt genau der Bereich der Vermessung, welcher das Unternehmen in seiner Arbeit unterstützen könnte. Bei der Beratung mit den Stadtwerken Waren kristallisierte sich der Aufbau des GIS als sehr wichtig heraus, wodurch sich dann im Gespräch das

Thema der Diplomarbeit ergab. Hauptbestandteil dieser Diplomarbeit soll es sein, schnelle und präzise Möglichkeiten zur Datenerfassung zu finden, um das sich im Aufbau befindliche GIS zu unterstützen und zu vervollständigen. Festzustellen ist hierbei, in wieweit Daten mit entsprechender Genauigkeit unter Einsatz verschiedener messtechnischer Ausrüstung erfasst werden könnten, um diese in das Geographische Informationssystem einzupflegen. Ein Vergleich der erreichbaren Lagegenauigkeit zum Aufsuchen von Leitungen zwischen herkömmlichen Ortungsgeräten und satellitengestützten Messverfahren soll erfolgen. Des Weiteren ist zu untersuchen, inwieweit vorhandene Leitungsortungsgeräte durch satellitengestützte Messverfahren unterstützt werden können.

Um ein solches satellitengestütztes Messsystem zu finden, werden drei GPS-Empfänger untersucht. Zu den Untersuchungspunkten gehören die Genauigkeit der Datenerfassung, die Nutzerfreundlichkeit, die Kosten und der Vergleich zu herkömmlichen Methoden der Ortung von Leitungen. Daneben werden als untergeordnetes Thema, Anwendungsbereiche eines satellitengestützten Messsystems im Zusammenhang mit einem GIS beschrieben.

Am Ende soll eine Empfehlung für ein geeignetes Messsystem gegeben werden. Zu Beginn der Untersuchungen werden die theoretischen Grundlagen zu Ortungsgeräten und GPS-Messverfahren erläutert.

## 2. Ortungsverfahren

Für das Erstellen von Leitungsplänen ist die Kenntnis über den Verlauf der Leitungstrasse notwendig. Nicht immer sind bereits aktuelle und aussagekräftige Karten vorhanden. Daher gibt es Hilfsmittel, um unterirdische Versorgungsleitungen in der Örtlichkeit aufzufinden ohne diese freizulegen.

Hierzu gibt es eine Vielzahl an Ortungsgeräten, mit denen sich die unterschiedlichen unterirdisch verlegten Leitungen suchen lassen. Zu den unterirdisch verlegten Leitungen zählen Wasser- und Gasleitungen sowie Entwässerungskanäle und Stromkabel.

In Abhängigkeit vom Leitungsmaterial (metallisch/nichtmetallisch), der Art der Leitung (Druckleitung/drucklos) und dem Abstand zwischen den Zugangsmöglichkeiten kann eine der im Folgenden aufgeführten Methoden angewandt werden.

Dieses Kapitel verschafft lediglich einen allgemeinen Überblick über die verschiedenen Leitungsortungsverfahren sowie deren Vor- und Nachteile. Zur ausführlichen Abhandlung des Themas wird an dieser Stelle auf angebrachte Fachliteratur verwiesen.

### 2.1 Akustische Verfahren

Bei der akustischen Leitungsortung werden Schallwellen auf die zu ortende Leitung übertragen. Je nach Verfahren wird das Signal entweder auf das in der Leitung transportierte Medium, oder nur auf die Leitung an sich übermittelt. Die Schallwellen breiten sich über die Leitungen bzw. über den Inhalt der Leitungen aus und werden gleichzeitig in das umliegende Erdreich ausgestrahlt. Wasser ist ein besonders geeignetes Medium zum Weiterleiten der Geräusche, da die Schallgeschwindigkeit bei knapp 1.500 m/sec liegt. Mit einem Schallortungsgerät lassen sich dann die entstandenen Signale empfangen und somit die Lage der Leitung auf die Erdoberfläche übertragen.

An dieser Stelle wird zwischen dem Impulswellenverfahren und dem Körperschallverfahren unterschieden. [FORMELN, 1998]

#### 2.1.1 Impulswellenverfahren

Beim Impulswellenverfahren ist ein direkter Zugang zum in der Leitung transportierten Medium, z.B. zur Wassersäule der Leitung, erforderlich. Der Pulswellengenerator (Abb. 2.1.1) wird an einer zugänglichen Armatur der Wasserleitung, beispielsweise an einem Hydranten, angebracht. Er wird mechanisch in das Leitungssystem eingebunden. Außerdem arbeitet der Pulswellengenerator nur dann, wenn die zu suchende Leitung mit Wasser gefüllt ist und einen Mindestdruck von 2 bar aufweist.

Diese Geräte besitzen ein mechanisch oder elektronisch gesteuertes Ventil, welches sich ca. 60-mal in der Minute öffnet und schließt. Durch den unentwegten Wechsel zwischen Wasserdruck und Wasserfluss entsteht eine Druckwelle. Diese setzt sich in der Leitung fort und versetzt somit die Leitung in Schwingung. Diese Schwingungen werden wiederum auf das umliegende Erdreich übertragen.

An der Erdoberfläche werden die so entstandenen Schwingungen, die direkt über der Leitung am stärksten sind, mit Hilfe eines hochempfindlichen Bodenmikrofons empfangen. Das Mikrofon ist ein elektroakustischer Sensor, der Schallwellen nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion in elektrische Wellen wandelt. Die Umwandlung funktioniert so, dass der Schall mit einer Membran aufgefangen wird. Die in Schwingung versetzte Membran bewegt einen magnetischen Metallstift, der sich in einer Spule befindet. Durch die Bewegung des Magneten wird in der Spule eine Spannung induziert.

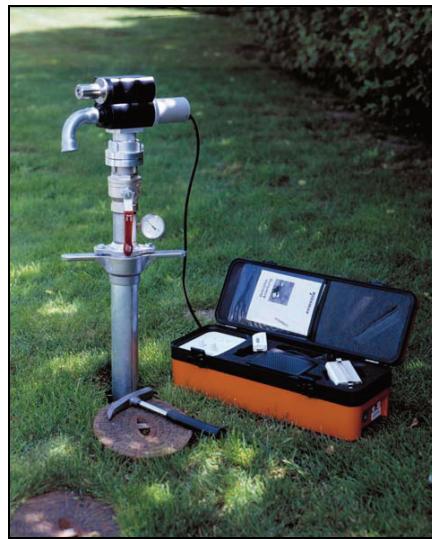


Abb. 2.1.1: Pulswellengenerator [sewerin08]

Das Verfahren ist für alle Druckleitungen geeignet und ist unabhängig vom Material der Leitung. Die Reichweite des akustischen Signals im Erdreich ist von der Tiefe der Leitung, der Verdichtung des Erdreichs und der Bodenart abhängig. Ebenfalls spielt die Beschaffenheit der zu suchenden Leitung eine wichtige Rolle. Der Pulswellengenerator wurde hauptsächlich für den Einsatz von metallischen Hauptleitungen entwickelt, jedoch lässt es sich auch bei Kunststoffrohren anwenden. Dabei haben Kunststoffrohre eine höhere Dämpfung und übertragen Geräusche oder Schwingungen nicht genauso schnell wie metallische Rohre. Je nach Leitungsmaterial werden somit die Schwingungen unterschiedlich weit vom Pulswellengenerator übersandt. So kann man bei den AZ (Asbestzement) - und metallischen Leitungen einen Bereich von bis zu 500 m, bei den PE (Polyethylen) - Leitungen sowie bei den PVC (Polyvinylchlorid) - Leitungen 150 m erlangen. Nachteil für die Ortung sind so genannte Luftsäcke oder Leckagen in der Leitung. Die Reichweite der Druckwellen wird dadurch deutlich reduziert, da die erzeugten Wellen in ihrer Intensität geschwächt werden oder sogar ganz zum Erliegen kommen.

Ein weiterer negativer Einfluss für die Genauigkeit ist die Tiefe der Leitung. Je tiefer die Leitung sich im Boden befindet desto größer ist das Gebiet des hörbaren Signals auf der Erdoberfläche, da sich die Schallwellen konzentrisch ausbreiten. Dies kann zu einer möglichen Abweichung bei einer 1,50 m tiefen Leitung von  $\pm 1$  m führen. Eine Tiefenortung ist nicht möglich, d.h. die Tiefe der Leitung kann nicht ermittelt werden, sondern nur die Lage der Leitung.

Eine Weitere Störung für die Ortung ist die eindeutige Wahrnehmung der Signale. Sie werden durch den Verkehrslärm, Erschütterungen des Bodens oder durch andere Geräuschquellen überlagert.

Keinen Einfluss auf akustische Verfahren haben jedoch vorhandene Formstücke oder Armaturen, da sich eine Schallwelle und kein fester Gegenstand in der Leitung fortbewegt.

Die Ortung mit dem Bodenmikrofon in einem Umkreis von 10 bis 15 m um den Pulswellengenerator ist nicht angebracht, da ansonsten die Gefahr besteht, dass die vom Sender emittierten Schallwellen die Ortungsergebnisse verfälschen.

Die Besendung von Wasserleitungen erfolgt mit Hilfe eines seismischen Impulsgebers, dem Pulswellengenerator.

Hingegen werden Gasleitungen mit einem akustischen Impulsgeber aufgespürt und geortet. Hierbei handelt es sich um einen Lautsprecher, der an einer zugänglichen Stelle, z.B. anstelle der Gasuhr, angeschlossen wird. Der Signalton des Lautsprechers wird vom Medium Gas aufgenommen und weitergeleitet. An der Erdoberfläche das Signal mit einem Empfänger geortet und akustisch bzw. optisch angezeigt werden.

Diese akustischen Leitungsorungen sind kostengünstig und erfordern keine weiteren Baumaßnahmen. [wien08; lind08; abc08; wiki08]

## 2.1.2 Körperschallverfahren

Anders verhält es sich beim Körperschallverfahren. Bei diesem Verfahren ist kein direkter Zugang zur Wassersäule erforderlich und das Gerät kann auch an leeren oder nur teilweise gefüllten Leitungen verwendet werden, was hier als Vorteil zu betrachten ist. Die Schallübertragung erfolgt über das Material der Leitung. Hierbei wird eine Schallwelle erzeugt indem mit einem Klopfer (Abb. 2.1.2) – „Rohrspecht genannt“ - leicht auf die Leitung geschlagen wird.



Abb. 2.1.2: Klopfer [sewerin08]

Dazu wird das Gerät mittels einer Kette an einer bis zu einem Durchmesser von 100 mm reichenden Rohrleitung befestigt und klopft in einer Impulsfolge von drei Schlägen permanent an die Leitung. Der Klopfer wird bei Hauptleitungen auf das geflutete Hydrantenstandrohr und bei Hausanschlussleitungen vor dem Wasserzähler aufmontiert. Jedoch findet grundsätzlich die Anwendung nur bei Wasser- oder Gas-Hausanschlussleitungen statt. Die Schallwellen breiten sich über die Leitung aus und können entlang der Trasse in einer Entfernung von bis zu 120 m vom Klopfer mit einem akustischen Suchgerät empfangen werden, wobei sich direkt über der Leitung ein Geräuschmaximum ergibt.

Ähnlich dem Impulswellenverfahren haben auch hier die Beschaffenheit des Erdreichs, die Tiefe der Leitung und auftretende Nebengeräusche Einflüsse auf die Genauigkeit der Ortung. Ebenfalls kann bei diesem Verfahren die Tiefe der Leitung nicht festgestellt werden. Allerdings lassen sich Rohrleitungen ohne störende Fremdeinflüsse anderer Versorgungsleitungen akustisch orten. [piet08]

## 2.2 Elektromagnetische Verfahren

Bei den elektromagnetischen Verfahren wird ein vorhandenes oder künstlich erzeugtes Magnetfeld, welches die Leitung umgibt, genutzt. Werden Signale geortet, die sich bereits auf dem Leiter befinden, wird von einer passiven Ortung gesprochen. Bei der aktiven Ortung wird von einem Sender ein Signal über die zu untersuchende Leitung gesendet.

Im Folgenden werden einige physikalische Gesetzmäßigkeiten und Methoden aufgeführt, um die nachstehenden elektromagnetischen Ortungsverfahren leichter nachvollziehen zu können.

### 2.2.1 Physikalische Gesetzmäßigkeiten

#### 2.2.1.1 Das Magnetfeld

Fließt ein Wechselstrom durch eine metallische Leitung, entsteht ein elektromagnetisches Wechselfeld, wobei sich dessen Feldlinien konzentrisch (Abb. 2.2.1.1) um die Leitung ausbreiten. Dieses elektromagnetische Wechselfeld wird geortet und die Leitungen somit indirekt erkannt.

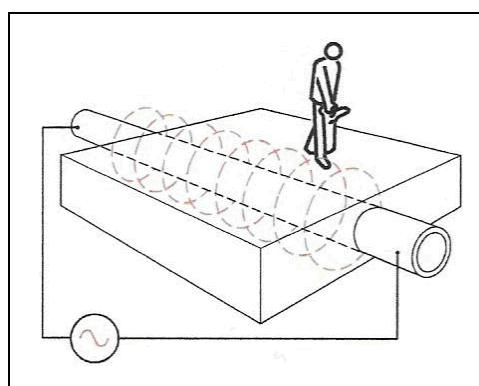


Abb. 2.2.1.1: Feldlinien eines Magnetfeldes [abc08]

### 2.2.1.2 Methoden des Signalempfangs

Im Empfänger, mit dem das Signal geortet wird, befinden sich senkrecht (vertikal) oder waagerecht (horizontal) angeordnete Spulen mit deren Hilfe die empfangenen Magnetfelder in eine Spannung umgewandelt werden. Diese Spannung wird dann je nach Gerätetyp akustisch, analog oder digital angezeigt. Der Empfang beruht auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion.

Die empfangene Spannungshöhe ist abhängig von der Lage der Spule zum Zentrum des Magnetfeldes. Je dichter sich die Spule des Empfängers am Magnetfeld befindet, desto stärker wirkt das Magnetfeld auf die Spulen ein. Dies führt dann zu einer höheren Induktionsspannung.

Beim Signalempfang wird zwischen der Minimum- und der Maximummethode unterschieden, je nachdem wie die Spulen für den Empfang angeordnet sind.

Bei der **Minimummethode**, auch Nullsignal genannt, wird mit einer senkrecht angeordneten Spule (Abb. 2.2.1.2-1) im Gerät gearbeitet. Wie der Name schon sagt, wird direkt über der Leitung ein Signalminimum durch die erzeugte Spannung in der Spule empfangen. Unmittelbar neben der Leitung erreicht diese Spannung ein Maximum, welches wiederum abfällt, je weiter man sich vom Magnetfeld der Leitung entfernt. Diese Methode ermöglicht eine sehr exakte Bestimmung der Leitung, da Spannungsmaximum und –minimum örtlich dicht nebeneinander liegen. Beim Spannungsminimum verstummt in der Empfangseinheit der Signaltón.

Durch benachbarte elektromagnetische Wechselfelder wird jedoch das Signal der zu ortenden Leitung beeinflusst und das zu empfangene Nullsignal in seiner Lage verschoben.

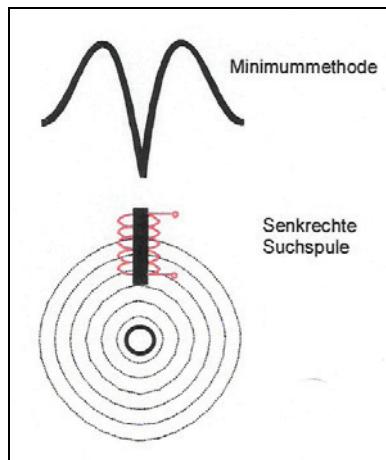


Abb. 2.2.1.2-1: Minimummethode [abc08]

Die **Maximummethode**, das so genannte Spitzensignal wird entweder durch eine waagerechte bzw. durch zwei waagerecht angeordnete Spulen (Abb. 2.2.1.2-2) im Gerät umgesetzt, wobei das „Doppelspulsystem“ in jedem Fall eine genauere Ortung zulässt.

Bei dieser Methode ist die induzierte Spannung direkt über der Leitung am höchsten und fällt zu den Seiten hin sehr stark ab. Dazu muss der Empfänger bzw. die Spule mit der Breitseite im rechten Winkel zur Leitung gehalten werden, welches durch die Lage der Spulen im Gerät

bedingt ist. Die Spulen müssen unabdingbar quer zur Leitung stehen. Ist die Lage der Leitung geortet, kann nun die Richtung festgestellt werden.

Zur Bestimmung der Leitungsrichtung wird der Empfänger so lange um die eigene senkrechte Achse gedreht, bis es zu einem Signalwegfall kommt. In diesem Fall befinden sich die Spulen parallel zur Leitung und die Richtung wird optisch durch die Breitseite des Empfängers angezeigt.

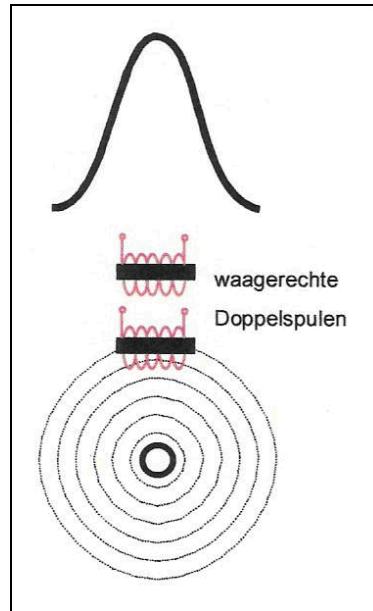


Abb. 2.2.1.2-2: Doppelpulsystem [abc08]

Nur mit dem Doppelpulsempfänger kann die Tiefe der Leitung (Kapitel 2.2.1.3), je nach Geräteausführung zusätzlich auch die ausgestrahlte Signalstromstärke (Kapitel 2.2.1.4), ermittelt werden. [abc08]

### 2.2.1.3 Bestimmen der Verlegetiefe einer Leitung

Um die Verlegetiefe (Abb. 2.2.1.3) einer Leitung bestimmen zu können, muss sich der Empfänger direkt über einer aktiv besendeten Leitung befinden.

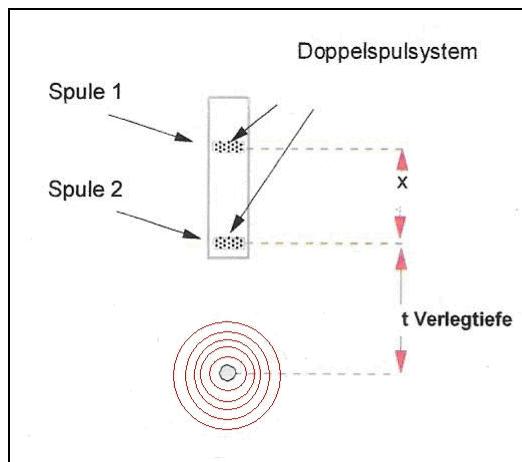


Abb. 2.2.1.3: Bestimmung der Verlegetiefe [abc08]

Die Tiefe, der Abstand von der unteren Kante des Empfängers bis zur Leitungsmitte, wird mit Hilfe des Doppelspulsystems errechnet. Dazu wird die Spannung der oberen mit der der unteren Spule verglichen und somit die Tiefe der Leitung ermittelt.

Eine Überprüfung der Genauigkeit der Tiefenmessung kann nur durch eine zweite Messung erfolgen. Dazu ist es notwendig, den Empfänger an der nahezu selben Stelle um einen bestimmten Abstand anzuheben und die Messung zu wiederholen. Durch den Vergleich der Differenz aus den beiden Messungen mit dem angehobenen Abstand kann eine Aussage über die Genauigkeit der Tiefenmessung getroffen werden. [abc08]

#### 2.2.1.4 Bestimmen der Signalstromstärke einer Leitung

Befinden sich mehrere Leitungen dicht nebeneinander, kann durch die Messung der Signalstromstärke exakt eine Leitung identifiziert werden. Die Signalstromstärke wird in mA angegeben und ist eine Verknüpfung aus Verlegetiefe und Feldstärke.

Dabei geht man wie folgt vor: ein Signalstrom wird auf die zu ortende Leitung gesendet. Dieser Signalstrom kann von einem Empfänger entlang der Leitung erfasst werden. Die Signalstromstärke hat einen entscheidenden Unterschied zur Feldstärke. Die magnetische Feldstärke ändert sich in ihrer Intensität je nach Tiefe der Leitung. Je dichter sich die Leitung am Empfänger befindet, desto stärker ist die magnetische Feldstärke. Die Signalstromstärke hingegen ist unabhängig von der Leitungstiefe und bleibt konstant.

Dieser Vorteil wird nun wie folgt genutzt: befinden sich weitere Leitungen dicht neben der mit einem Signalstrom besendeten Leitung, wird das Signal auf die anderen Leitungen übertragen. Bei der Übertragung wird das Signal abgeschwächt. Misst man nun die Signalstromstärke, hat die besendete Leitung die größte Signalstromstärke und kann somit zweifelsfrei identifiziert werden. Die Nachbarleitungen werden unabhängig von ihrer Tiefe in jedem Fall ein schwächeres Signal abgeben (Abb. 2.2.1.4). [abc08]

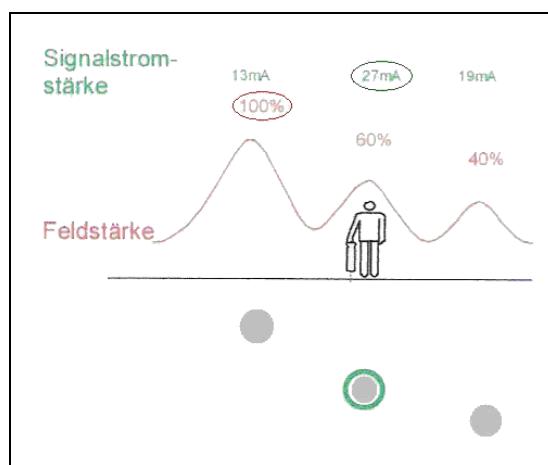


Abb. 2.2.1.4: Signalstromstärke [abc08]

Nachdem die Grundlagen erläutert sind, wird nun speziell auf die passive und aktive Ortung eingegangen.

## 2.2.2 Passive Ortung

Bei der passiven Ortung können elektromagnetische Wechselfelder, welche bereits die Leitung umgeben, lokalisiert werden.

Zum einen bauen Stromkabel eigene Wechselfelder auf, welche dann geortet werden können, zum anderen werden Signale, welche von oberirdischen Stromversorgungsleitungen oder Radiosendern ausgesandt werden, durch das Erdreich auf die unterirdischen Leitungen übertragen.



Abb. 2.2.2: Freileitungen [dete08]

Diese Signale induzieren einen Strom, wodurch wiederum ein elektromagnetisches Wechselfeld um die Leitung erzeugt wird. Sind diese stark genug, können sie geortet werden. Freileitungen (Abb. 2.2.2) erzeugen ein 50 Hz-Signal als Rückstrom auf erdverlegte Kabel und Leitungen. Bei den Radiosendern sind es die Langwellen, welche ausgestrahlt werden und sich auf die metallische Leitung legen.

Auf fast allen metallischen Kabeln und Leitungen befinden sich besagte 50 Hz- und Radiosignale. Daher findet die passive Ortung ihren Einsatz bei Strom- und Steuerkabel oder metallischen Gas- und Wasserleitungen. Bei nichtstromleitenden Kabeln oder Gussleitungen mit Gummimuffen reicht das Magnetfeld, das durch diese Signale erzeugt wird, für eine Ortung nicht aus und es muss die aktive Methode angewandt werden. [abc08]

## 2.2.3 Aktive Ortung

Bei der aktiven Ortung wird mit Hilfe eines Senders ein elektromagnetisches Wechselfeld auf die zu ortende Leitung übertragen, das heißt, es wird eine künstliche Frequenz auf die Leitung geprägt.

Der Einsatz der aktiven Ortung hat unterschiedliche Möglichkeiten. Zum einen wird sowohl die Lage und als auch die Tiefe der Leitung bestimmt und zum anderen dient die aktive Methode dazu, Leitungen von anderen zu unterscheiden.

### 2.2.3.1 Leitungsortung durch Magnetfeldbesendung

Eines der kostengünstigsten und oft verwendeten Verfahren ist die Leitungsortung durch Magnetfeldbesendung (Abb. 2.2.3.1). Hierbei lassen sich nur stromleitende Materialien lokalisieren. Vorteil hierbei ist, dass die zu ortende Leitung nicht außer Betrieb genommen werden muss.

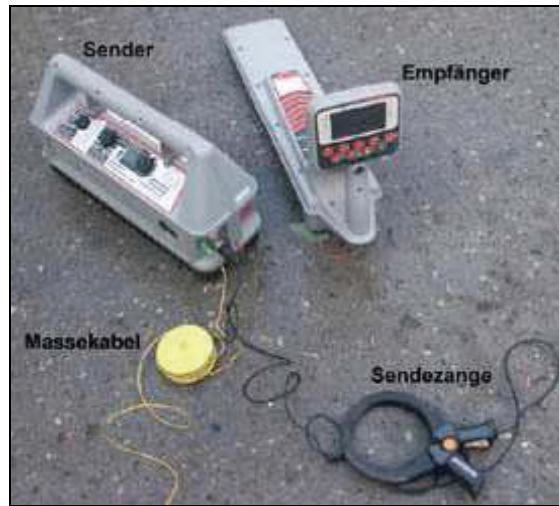


Abb. 2.2.3.1: Leitungsortungsgerät mit Zubehör [lind08]

Die Magnetfeldbesendung bietet folgende Möglichkeiten ein Signalstrom auf die Leitung zu erzeugen: die galvanische (direkte) Ankopplung, die Ankopplung mit einer Sendezange und die induktive Ankopplung. In Abhängigkeit vom Zugang an die Leitung, wird eine der drei genannten Möglichkeiten angewendet.

Bei der **galvanischen Ankopplung** wird eine leitende Verbindung zwischen dem Sender und der Leitung hergestellt. Der Sender wird an einer zugänglichen Stelle z.B. am Schiebergestänge direkt angeschlossen. Wichtig ist es hierbei, dass eine separate Erdung mit einem Erdungsstab als Gegenpol zu der Leitung im Boden erfolgt, um den Stromkreis zu schließen. Nach dem Anschluss des Senders an die Leitung entsteht um das Objekt herum ein Magnetfeld.

Bei der **Ankopplung mittels einer Sendezange**, welche um die Leitung anzubringen ist, wird ein Strom übertragen. Dieser Strom wird von einem dafür konzipierten Sender abgegeben. Die Anbringung der Sendezange erfolgt über eine zugängliche Stelle, wie zum Beispiel ein Hydrant, ein Auslaufventil oder direkt im Kabelverteilerschrank der zu ortende Leitung. Wichtig ist hierbei, dass die Backen der Sendezange die Leitung fest umschließen und die Leitung selbst an beiden Enden geerdet ist um einen Signalfluss zu ermöglichen.

Dagegen herrscht bei der **induktiven Ankopplung** keine direkte Verbindung zur Leitung. Hierbei wird ein Sender genau über die zu ortende Leitung aufgestellt, welche vorab durch eine passive Vorortung lokalisiert wurde. Nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion wird ein Magnetfeld und somit ein Signal um die Leitung herum erzeugt, welche

sich unmittelbar in der Nähe des Senders befindet. Dies geschieht durch die sich im Sender befindliche Spule. Die induktive Ankopplung zählt zu den einfachsten und schnellsten Verfahren.

Mit einem Empfänger an der Erdoberfläche lässt sich nun bei allen drei Methoden dieses Magnetfeld orten und dessen Feldstärke messen. Auf dem Display des Empfängers wird in Form einer Prozentzahl die Stärke des Magnetfeldes angezeigt. Die Stelle mit dem größten Messwert markiert die Lage der Leitung auf der Erdoberfläche.

Gleich der Schallwelle bei der akustischen Ortung breitet sich ein Magnetfeld ebenfalls konzentrisch aus. Dadurch wird die Fläche in welcher die Signale geortet werden können größer, je weiter die Leitung vom Empfänger entfernt ist. Gegenüber der akustischen Ortung hat die Methode mit der Magnetfeldbesendung eine höhere Genauigkeit, denn die mögliche Abweichung bei einer 1,50 m tiefen Leitung beträgt nur  $\pm 30$  cm.

Mit diesem Verfahren kann zusätzlich die Tiefe der Leitung bestimmt werden. Liegt jedoch eine andere Leitung über dem zu ortenden Objekt, ist die Tiefenbestimmung nicht möglich. Weiterhin wird die Ortung durch umliegende stromführende oder stromleitende Leitungen erschwert, da deren Magnetfelder ebenfalls empfangen werden und somit keine eindeutige Identifikation möglich ist. [lind08; piet08]

### 2.2.3.2 Leitungsortung mit der Schubsonde

Bei der Leitungsortung mit der Schubsonde (Abb. 2.2.3.2) wird zwischen der Punktortung und der Streckenortung unterschieden. Eine Sonde ist ein batteriebetriebener elektromagnetischer Sender, der sich in einem wasserdichten und stoßfesten Gehäuse aus Kunststoff befindet. Leistungsstarke Sonden können bis zu einer Tiefe von 15 m geortet werden.



Abb. 2.2.3.2: Schubstange mit Sonde [lind08]

Bei der **Punktortung** benötigt man eine Sonde, welche am Ende einer Schubstange befestigt ist. Mittels Schubstange wird die Sonde in die zu ortende Leitung geschoben. Dieser Vorgang setzt voraus, einen Zugang zur Leitung zu schaffen, um die Sonde

einzu bringen. Bei der Punktortung erzeugt allein die Sonde an der Spitze der Schubstange ein magnetisches Wechselfeld, dessen Stärke durch einen Empfänger an der Oberfläche gemessen wird. Dabei ist das erzeugte Magnetfeld nur in der direkten Umgebung des Senders und somit nur an einem bestimmten Punkt entlang der Leitung zu orten. Durch die Ortung der einzelnen in einem bestimmten Abstand liegenden Punkte, kann der Leitungsverlauf festgestellt werden. Der Abstand der einzelnen Messpunkte wird vom Gerätenutzer selbst festgelegt. Diese müssen so gewählt sein, dass Knickpunkte im Leitungsverlauf eindeutig erkennbar sind.

Für die **Streckenortung** wird eine Flexisonde benötigt, diese besteht aus einem Flexband (der Schubstange) mit einer Sonde, welche an der Spitze der Schubstange befestigt ist. In dem Flexband befinden sich zwei metallische Adern, so genannte Kupferseelen. Im Gegensatz zur Punktortung, wo nur die Sonde an sich ein Wechselfeld aufbaut, erzeugen hier die Sonde und das Flexband (Schubstange) ein magnetisches Wechselfeld. Dessen Feldstärke kann wiederum mit einem Empfänger an der Erdoberfläche geortet und verfolgt werden.

Diese Variante ist für die Ermittlung des Leitungsverlaufes besser geeignet, da das Signal über die gesamte Länge der Schubstange verstreut ist. Für das Einbringen der Schubstange muss auch hier ein Zugang zur Leitung vorhanden sein oder geschaffen werden.

Beide Methoden sind für die Ortung von nichtmetallischen Leitungen am zweckmäßigsten, da metallische Leitungen oder andere Stromleiter die Signale verfälschen.

Da für das Einbringen der Schubstange, wie oben beschrieben, ein Zugang zur Leitung vorhanden sein oder einer geschaffen werden muss, sind die Leitungen außer Betrieb zunehmen. Dieses ist als Nachteil zu betrachten.

Die mögliche Abweichung bei der Erfassung der Sonde bzw. des Flexbands beträgt  $\pm 0,3$  m bei einer Tiefe von 1,50 m und ist auf die Reichweite von ca. 60 m, durch die Länge der Schubstange, begrenzt. An Formstücken wie enge Bögen, Vorsprünge oder an Armaturen kann die Sonde anstoßen und somit das Fortsetzen der Ortung erschweren oder sogar ganz verhindern.

Auch hier ist die Tiefenbestimmung nur möglich, solange keine weiteren Objekte über der zu ortenden Leitung liegen. [lind08; piet08]

### 2.2.3.3 Leitungs ortung mit einem magnetfeldsender-bestückten Molch

Die Leitungs ortung mit einem magnetfeldsender-bestückten Molch (Abb. 2.2.3.3) wird für nichtmetallische Leitungen über 300 m Länge eingesetzt. Ein Molch ist ein Lauf- oder Passkörper, der eine Rohrleitung durchfährt und dabei von einem Treibmittel (z.B. Wasser) angetrieben wird. Ein Molch kann mit verschiedenen technischen Geräten ausgestattet werden und hat somit mehrere Anwendungsmöglichkeiten, wie z.B. das Orten von Leitungen oder die Reinigung von Rohren.

Bei diesem Verfahren ist es unabdingbar, die Leitung außer Betrieb zu setzen, da sie am Beginn der Trasse für den Einschub geöffnet werden muss. Der Molch muss für die

Anwendung in das offene Rohr eingeführt werden. Dazu wird ein etwa 1 m langes Rohrstück aus dem Leitungsnetz entnommen. In diese Öffnung wird dann der Molch in die Leitung verbracht. Bedingt dadurch, dass der Molch bei der Ortung mit Wasserdruck durch die Leitung gepresst wird, muss die Leitung während des Einsatzes wieder geschlossen werden. Hierfür wird das fehlende Rohrstück meist mit einem Feuerwehrschlauch überbrückt, welcher mechanisch in die Leitung eingeschraubt wird. Damit der Molch mit installiertem Magnetfeldsender nach der Ortung wieder aus der Leitung entnommen werden kann, wird er an einem Rückholseil befestigt.



Abb. 2.2.3.3: Molch mit eingebautem aktivem Magnetfeldsender [lind08]

Wie bei den zuvor beschriebenen elektromagnetischen Verfahren wird auch hier die Stärke des Magnetfeldes an der Oberfläche mit einem Empfänger gemessen und der Leitungsverlauf bzw. die Lage des unterirdischen Rohres bestimmt.

Nach der Ortung wird der Molch herausgezogen und das fehlende Leitungsstück wieder eingesetzt und verschlossen. Durch die erforderlichen Baumaßnahmen ist dieses Verfahren sehr kostenintensiv.

Verengungen im Rohr beispielsweise durch T-Stücke, welche sich quer zur Fließrichtung befinden, beeinträchtigen die Reichweite und somit diese Methode der Ortung.

Tiefenbestimmungen und mögliche Abweichungen der Genauigkeit sind gleichermaßen wie bei der Leitungsortung mit der Schubsonde (Kapitel 2.2.3.2). [lind08]

#### 2.2.3.4 Leitungsortung mit Bodenradar

Die Leitungsortung mit dem Bodenradar ist ein elektromagnetisches Impulsreflexionsverfahren, das wie die Reflexionsseismik und die Entfernungsmessung mit Sonar und Radar auf ähnlicher Grundlage beruht. Es gehört zu den neueren Verfahren, die sich in ständiger technischer Weiterentwicklung befinden.

Das Bodenradar nutzt kurze elektromagnetische Impulse, die an der Oberfläche in den Untergrund abgestrahlt und nach der Reflexion Objekten wieder empfangen werden. Dabei werden die Laufzeit, die Phase und die Amplitude der reflektierten Welle aufgezeichnet.

Das Sende- und Empfangssignal wird durch Antennen abgestrahlt und zugleich empfangen. Eine hohe Pulsfolge der Sendesignale ermöglicht eine kontinuierliche profilhafte Messung.

Die Aufzeichnung der Messergebnisse erfolgt in Form eines Radargramms (Abb. 2.2.3.4-1), in dem die reflektierten Signale in Abhängigkeit von der Laufzeit in Nanosekunden bzw. der

Tiefe in einem Profilschnitt dargestellt werden. Die Größe der Amplituden wird in einer Graustufenzuordnung wiedergegeben. Bei der Auswertung des Radargramms lassen sich Rückschlüsse auf die Lage der Leitung ziehen. Um eine verbesserte Qualität der Messdaten zu erhalten, sind meist eine spezielle Software und diverse Datenbearbeitungsschritte notwendig.

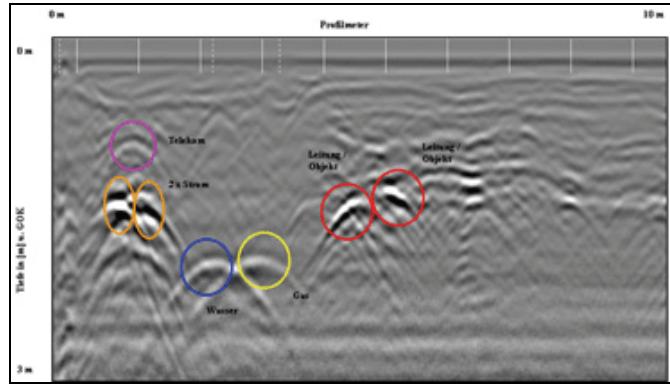


Abb. 2.2.3.4-1: Radargramm [geor08]

Die Vorteile dieser Methode liegen in der zerstörungsfreien Anwendung, der hohen Genauigkeit, der Tiefenbestimmung sowie der Möglichkeit, die Messergebnisse auf dem Bildschirm als Radargramm darzustellen. Messungen auf Leitungstrassen von bis zu mehreren Kilometern pro Tag sind zu erreichen. Somit ist die Bodenradarmessung eine schnelle und hochauflösende Untersuchungsmethode für Objekte in einer Tiefe bis zu mehreren Metern.

Die Bodenradarmessung ist abhängig von den geologischen und hydrologischen Bodeneigenschaften. Die Reflexionen an den verschiedenen Materialien sind unterschiedlich stark, da sie in erster Linie vom Salz- und Wassergehalt der Materialien abhängig ist. Die Ortung von Einzelobjekten, wie Kabel, Rohrleitungen und Hohlräumen kann nur in salzfreien und trockenen Untergründen durchgeführt werden.



Abb. 2.2.3.4-2: Bodenradargerät [meix08]

Dieses Verfahren ist sehr kostenintensiv und teilweise auch sehr unhandlich, da die Erdoberfläche mit dem mobilen aber auch schweren Gerät (Abb. 2.2.3.4-2) befahren werden muss. [lind08; wiki08]

In der Tabelle 2 sind die Vor- und Nachteile sowie die Anwendungsgebiete der einzelnen Verfahren übersichtlich dargestellt.

Methode	Vorteile	Nachteile
<b>Akustische Verfahren</b>		
<i>Impulswellenverfahren</i> - alle Druckrohr- und Hauptversorgungsleitungen		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- für nichtmetallische Leitungen geeignet</li> <li>- keine Fremdeinflüsse anderer Leitungen</li> <li>- Formstücke und Armaturen stören nicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- direkter Zugang zur Wassersäule</li> <li>- Mindestdruck von 2 bar</li> <li>- Kunststoffrohre, Luftsäcke und Leckagen dämpfen die Schallwelle</li> <li>- abhängig von Leitungstiefe, Bodenart und -beschaffenheit, Nebengeräuschen</li> <li>- Bestimmung der Verlegetiefe nicht möglich</li> </ul>
<i>Körperschallverfahren</i> - Wasser- und Gas-Hausanschlussleitungen		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kein direkter Zugang zur Wassersäule</li> <li>- für nichtmetallische Leitungen geeignet</li> <li>- keine Fremdeinflüsse durch andere Leitungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- direkter Zugang zur Leitung</li> <li>- abhängig von Leitungstiefe, Bodenart und -beschaffenheit, Nebengeräuschen</li> <li>- Bestimmung der Verlegetiefe nicht möglich</li> </ul>
<b>Elektromagnetische Verfahren</b>		
<b>Passive Ortung</b>		
<i>Passive Ortung</i> - Stromkabel, metallische Gas- und Wasserleitungen		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung vorhandener Magnetfelder</li> <li>- kein direkter Zugang zur Leitung</li> <li>- Bestimmung der Verlegetiefe möglich</li> <li>- zur Vorortung geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nur bei stromleitenden Kabeln</li> <li>- 50 Hz Frequenz meist nicht ausreichend</li> <li>- Genauigkeit der Ortung abhängig von Leitungstiefe</li> <li>- nur metallische Leitungen</li> <li>- nicht eindeutig identifizierbar</li> </ul>
<b>Aktive Ortung</b>		
<i>Magnetfeldbesendung</i> - Stromkabel, metallische Gas- und Wasserleitungen		
<i>allgemein</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestimmung der Verlegetiefe möglich</li> <li>- einfaches und schnelles Verfahren</li> <li>- Leitung muss nicht außer Betrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fremdeinflüsse durch andere metallische Leitungen</li> <li>- Genauigkeit der Ortung abhängig von Leitungstiefe</li> <li>- nur metallische Leitungen</li> </ul>
<i>Galvanische Ankopplung</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- direkter Zugang zur Leitung</li> <li>- separate Erdung erforderlich</li> </ul>
<i>Sendezange</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- direkter Zugang zur Leitung</li> </ul>
<i>Induktive Ankopplung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kein direkter Zugang zur Leitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vorab passive Vorortung erforderlich</li> <li>- nicht eindeutig identifizierbar</li> </ul>
<i>Schubsonde</i> - nichtmetallischen Wasser- und Abwasserleitungen		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestimmung der Verlegetiefe möglich</li> <li>- für nichtmetallische Leitungen geeignet</li> <li>- hohe Genauigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- direkter Zugang zur Leitung</li> <li>- Leitung muss außer Betrieb</li> <li>- Fremdeinflüsse durch andere metallische Leitungen</li> <li>- Reichweite durch Schubstange begrenzt</li> <li>- Beeinträchtigung durch Formstücke</li> </ul>
<i>magnetfeldsender-bestückten Molch</i> - nichtmetallischen Leitungen		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestimmung der Verlegetiefe möglich</li> <li>- geeignet für Leitungslängen über 300 m</li> <li>- für nichtmetallische Leitungen geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitung muss außer Betrieb</li> <li>- Baumaßnahmen für direkten Zugang zur Wassersäule</li> <li>- Beeinträchtigung durch Formstücke</li> <li>- sehr kostenintensiv</li> </ul>
<i>Bodenradar</i> - alle Versorgungsleitungen		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kein direkter Zugang zur Leitung</li> <li>- schnelles Verfahren</li> <li>- für nichtmetallische Leitungen geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- abhängig vom Wasser- und Salzgehalt des Bodens</li> <li>- spezielle Auswertesoftware erforderlich</li> <li>- unhandlich und kostenintensiv</li> </ul>

Tab. 2: Vor- und Nachteile der Leitungsortungsverfahren

### 3. GPS – Grundlagen

Dieses Kapitel soll die Grundlagen der GPS-Vermessung keineswegs vollständig behandeln. Es soll lediglich einen zusammenfassenden Überblick darstellen, sowie dazu dienen, Begriffe, die in weiteren Kapiteln dieser Diplomarbeit auftauchen, im Vorfeld zu erläutern. Ferner könnte es als Nachschlagewerk für die Mitarbeiter der Stadtwerke Waren bei dem künftigen Umgang mit einem GPS-Handempfänger behilflich sein.

GPS (*Global Positioning System*) ist ein Ortungssystem, welches vom amerikanischen Verteidigungsministerium (*DoD; Department of Defense*) erfunden und realisiert wurde.

„Ein GPS-Nutzer – egal ob in Ruhe oder in Bewegung – sollen extreme genaue Informationen über seine (dreidimensionale) Position, seine Geschwindigkeit sowie über die Zeit überall auf oder nahe der Erde zur Verfügung gestellt werden. Diese Informationen soll das System ständig liefern, unabhängig von Wetterbedingungen.“ [BAUER, 2003]

GPS dient zur Bestimmung einer Position via Satellit. Der eigentliche Name des Systems ist NAVSTAR (*Navigation System for Timing and Ranging*), bekannt ist es aber als GPS. GPS wird sowohl in der Luft-, Land- und Seefahrtnavigation als auch im Vermessungswesen eingesetzt. Letzteres wurde in den letzten Jahren stark durch dieses System geprägt. Die konventionellen Messverfahren (Tachymeter, Nivellement) wurden teilweise durch die GPS-Technik ergänzt bzw. ersetzt. GPS wird immer öfter zur Lösung geodätischer Aufgaben angewendet.

Gleichzeitig sind weitere Satellitensysteme für Positionsbestimmung und Navigation entstanden bzw. befinden sich im Entwurf. GLONASS stellt das russische Äquivalent zum amerikanischen GPS dar. Die Entwicklung eines europäischen Systems zur Satellitennavigation namens Galileo befindet sich momentan in Planung und soll in den nächsten Jahren betriebsbereit sein. Ein weiteres System ist das im Aufbau befindliche chinesische Compass-System.

Das Kapitel GPS-Grundlagen bezieht sich ausschließlich auf das GPS-System. Eine Einsicht in die Systeme GLONASS und Galileo sind im Kapitel 4. Modernisierung aufzufinden.

#### 3.1 Historische Entwicklung

GPS ist das Nachfolgersystem von TRANSIT (NNSS – *Navy Navigation Satellite System*), dem ersten US-Satellitennavigationssystem aus den 60er Jahren.

Im Jahre 1973 wurde es von der Regierung der USA ins Leben gerufen. Die Forderungen, die das Militär an das GPS-System stellte, waren folgende: Es sollte dreidimensionale Position-, Navigation- und Zeitinformationen liefern. Weiterhin sollte es weltweit verfügbar und unabhängig von meteorologischen Bedingungen sein.

Der Aufbau des GPS-Systems erfolgte in drei Phasen und zwar der Überprüfungs-, Entwicklungs- und Ausbauphase. In der ersten Phase, von 1974 bis 1979, wurden mittels

Testsatelliten der militärische Wert des Systems überprüft und Berechnungen angestellt. Daran wurde festgestellt, ob die vorgesehenen Maßnahmen die Anforderungen an das System erfüllen.

In der Entwicklungsphase von 1979 bis 1985 wurden die Empfangssysteme ausgebaut, weitere Satelliten gestartet und somit die technischen Entwicklungen vorangetrieben.

In der letzten Phase von 1985 bis 1995 wurde das System nach und nach ausgebaut. Die offizielle Freigabe und den Einsatz der voll operationsfähigen Satelliten teilte die Luftwaffe der USA im Juli 1995 mit. [BAUER, 2003]

## 3.2 Systembeschreibung

Das GPS-System lässt sich in drei grundlegende Segmente, dem Weltraum-, Kontroll- und Nutzersegment, unterteilen, die im Folgenden erklärt werden.

### 3.2.1 Das Weltraumsegment

#### 3.2.1.1 Aufbau der Satelliten

Das Weltraumsegment besteht aus mindestens 24 Satelliten (21 werden benötigt, 3 sind Ersatz). Heute sind es allerdings meist um die 31 aktive Satelliten.

Ein GPS-Satellit besteht aus zwei Sonnenkollektorplatten zur Stromversorgung, Sende- und Empfangsantenne für den Kontakt zum Kontrollsegment, Mikroprozessoren zur Steuerung der Satellitenfunktion sowie einem Antriebssystem zur Lagestabilisierung und Erhaltung der Bahnposition. Ein weiterer wichtiger Bestandteil sind die Atomuhren, deren Funktion in einem späteren Abschnitt beschrieben wird.



Abb. 3.2.1.1-1: GPS-Block I Satellit [kowo08]

Der erste dieser Satelliten wurde bereits 1978 in seine Umlaufbahn gebracht. Im Laufe der Jahre wurden die GPS-Satelliten immer weiter entwickelt und mittlerweile gibt es fünf verschiedene Typen (Block I, Block II, Block IIA, Block IIR und Block IIR-M) im Orbit.

Von den Block I Satelliten (Abb. 3.2.1.1-1), welche zwischen 1978 und 1985 gestartet wurden, ist auf Grund ihrer Lebensdauer seit 1995 kein einziger mehr in Betrieb.

Von 1989 bis 1996 wurden 9 Block II Satelliten und 18 Block IIA (A = **Advanced** - fortschrittlich) Satelliten gestartet. Sie sind für eine Lebensdauer von 7,5 Jahre konzipiert, wiegen über 1500 kg, haben eine „Spannweite“ von ca. 5,1m und besitzen jeweils zwei

Rubidium- und zwei Cäsium-Atomuhren. Heute befinden sich noch 13 Satelliten vom Typ IIA in der Umlaufbahn.

Vom Satelliten des Blocks IIR (R = *Replenishment* – Ausfüllen, Ersatz) wurden in den Jahren von 1996 bis 2003 ganze 21 hergestellt, 13 gestartet, 12 sind im Einsatz und die restlichen wurden zu IIR-M Typen (M = *Modernized* – modernisiert) umgerüstet. Letztere haben drei Rubidium-Atomuhren an Bord und senden ein neues Signal (L2C) für zivile Anwendungen auf der zweiten Frequenz aus. Der letzte Start des 60 Millionen Euro teuren IIR-M-Satelliten erfolgte im März 2008 und ist damit der 6. Satellit dieser Serie. Weitere Abflüge des zwei Tonnen schweren Satelliten sind für September 2008 geplant. Sie haben eine geschätzte Lebensdauer von etwa 13 Jahren.



Abb. 3.2.1.1-2: GPS-Block IIF Satellit [kowo08]

Die in Planung befindlichen zwölf Satelliten (siehe Abb. 3.2.1.1-2) des Blocks IIF (F = *Follow up* – Nachfolger) werden voraussichtlich ab 2009 mit einem neuen Signal auf einer dritten separaten Frequenz (L5) gestartet. An Bord werden sich dann anstatt der bisher eingesetzten Rubidium- bzw. Cäsium-Atomuhren Wasserstoffmaser für die Signalerzeugung befinden. [kowo08; wiki08; ipgd08]

### 3.2.1.2 Satellitenkonstellationen

Das System besteht gegenwärtig aus 31 Satelliten, welche die Erde in einer Höhe von 20.183 km umkreisen. Die GPS-Satellitenbahnen (siehe Abb. 3.2.1.2-1) befinden sich in sechs Ebenen, in denen die Satelliten in gleichen Abständen angeordnet sind.

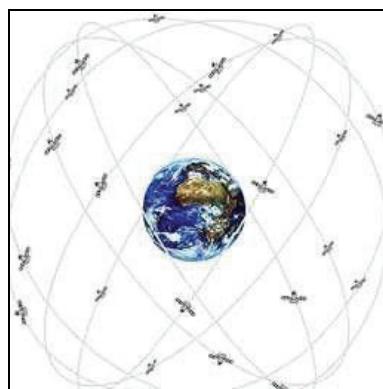


Abb. 3.2.1.2-1: Satellitenbahnen [kowo08]

Die Inklination (siehe Abb. 3.2.1.2-2) der Ebenen beträgt  $55^\circ$  und sind in der Äquatorebene um jeweils  $60^\circ$  gegeneinander versetzt.

Die Anzahl und Anordnung der Satelliten hat zur Folge, dass an jedem Punkt auf oder nahe der Erdoberfläche zu jedem Zeitpunkt 4 Satelliten sichtbar sind (in der Regel aber meist 6 bis 8 Satelliten). Die Satelliten umkreisen die Erde mit 3,9 km pro Sekunde und haben eine Umlaufzeit von 11 Stunden 58 Minuten. Das bedeutet, dass der gleiche Satellit jeden Tag etwa 4 Minuten früher über der gleichen Position steht. [kowo08]

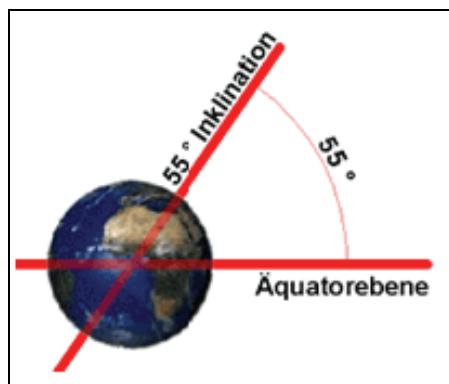


Abb. 3.2.1.2-2: Inklination der Umlaufbahnen [kowo08]

### 3.2.2 Das Kontrollsegment

Die Kontrolle über das GPS-System liegt vollständig in den Händen des US-Verteidigungsministerium (DoD).

Zur Überwachung der Satelliten dient eine Master Control Station (Colorado Springs) und vier Monitorstationen (Hawaii, Ascension Islands, Diego Garcia und Kwajalein). Die drei letzten genannten sind gleichzeitig auch Sendestationen für Korrekturdaten. Dem Überwachungsnetz (Abb. 3.2.2) wurden im Jahre 2005 noch sechs weitere Monitorstationen der NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) hinzugefügt.



Abb. 3.2.2: Monitorstationen und Master Control Station [kowo08]

Die Monitorstationen sind nichts weiter als GPS-Empfänger, die alle sichtbaren Satelliten verfolgen, Messdaten aus den Satellitensignalen sammeln und diese Rohdaten an die Hauptkontrollstation senden. Dort werden die Daten ausgewertet und wichtige Informationen über die Uhren (Uhrkorrektionen) und Bahnen (Broadcast-Ephemeriden) der Satelliten gewonnen. Die aktuellen Werte, auch Korrekturdaten genannt, werden in einer Navigationsnachricht (*Navigation Message*) zusammengestellt. Die Navigationsnachricht wird mit Hilfe einer Bodenantenne (*Ground Antenna*), von den Sendestationen Ascension Islands, Diego Garcia oder Kwajalein an die Satelliten zurückgesandt. Somit liegen für jeden Satelliten bestmögliche Bahndaten vor (seine Koordinaten zum Zeitpunkt des Aussendens des Signals zur Erde).

Die so an die Satelliten übermittelten Bahndaten besitzen eine Genauigkeit von 2 bis 5 m, was für die Mehrheit der GPS-Anwendungen völlig ausreichend ist. Für die Ausnahmen, mit sehr hohen Anforderungen an die Genauigkeit bei Spezialanwendungen und großräumigen Messgebieten, werden Bahndaten höherer Genauigkeit benötigt. Diese präzisen Bahndaten werden seit Anfang der 90er Jahre vom zivilen Internationalen GPS Service (*IGS*, <http://igscb.jpl.nasa.gov>) bestimmt und mit zeitlicher Verzögerung kostenlos im Internet angeboten. Diese endgültigen Bahndaten basieren auf den Phasenbeobachtungen eines dichten globalen Netzes von Stationen. Sie haben eine Genauigkeit von einigen Zentimetern und sind nur für Post-Processing Anwender (Kapitel 3.9.3) einsetzbar. [kowo08; BAUER, 2003]

### 3.2.3 Das Nutzersegment

Das Nutzersegment ergibt sich aus der Summe aller Anwender mit ihren verschiedenartigen Empfangsgeräten. Die Anzahl der Nutzer unterliegt keiner Einschränkung, da lediglich Daten vom Satelliten empfangen und niemals Daten vom Nutzer zum Satelliten geschickt werden.

Es gibt zwei Arten von GPS-Empfängern. Das sind einmal die Navigations- und Zeitempfänger, bei denen nur Code-Auswertungen (Kapitel 3.5.1) durchgeführt und eine Genauigkeit von 3 bis 10 m erreicht werden. Die anderen sind geodätische Empfänger, bei denen zusätzliche Trägerphasenmessungen (Kapitel 3.5.2) mit in die Auswertung fließen. Hierbei wird zwischen einem Einfrequenz-Empfänger für geringere Genauigkeitsanforderungen und einem Zweifrequenz-Empfänger für höchste Präzision im mm-Bereich unterschieden.

Einfrequenz-Empfänger kommen auf Grund ihrer geringen Genauigkeit hauptsächlich in der Navigation zum Einsatz. Hier wären vor allem Navigationssysteme für Kfz zu erwähnen, aber auch GPS-Handempfänger zum Segeln, Wandern oder bei grober Flächenbestimmung in Land- und Forstwirtschaft. Zweifrequenz-Empfänger sind in der reinen Vermessung zu finden, da hier Genauigkeiten für die Punktkoordinaten von unter 3 cm in der Lage zu erreichen sind. Beim Einfrequenz-Empfänger ist die Genauigkeit zwischen 3 und 10 m anzusiedeln.

Die wesentlichen Bestandteile einer Satellitenempfangsanlage ähneln sich sehr und können somit allgemein beschrieben werden. Ein GPS-Empfänger besteht aus einer Antenne mit Vorverstärker, ein Hochfrequenzteil für die Signalidentifizierung und –verarbeitung sowie

einen Mikroprozessor für die Empfangskontrolle, die Datenerfassung und für die Berechnung der Navigationslösung. Weiterhin besteht er aus einer Bedien- und Anzeigeeinheit, einem Speicher, einem Präzisionsoszillator und der notwendigen Stromversorgung. [BAUER, 2003; SEEBER, 1989]

### 3.3 GPS-Referenzsysteme

#### 3.3.1 Koordinatensystem

GPS gestützte Positionsbestimmungen und Koordinatenberechnungen in Vermessung und Navigation erfolgen im Koordinatensystem (*World Geodetic System 1984*). Das WGS84 ist eine Realisierung des ITRS (*International Terrestrial Reference System*) und basiert auf den geozentrischen Koordinaten der weltweit verteilten GPS-Kontrollstationen.

Das WGS84 versucht, die tatsächliche Erdfigur bestmöglich in Form eines Rotationellipsoids mathematisch global zu beschreiben. Es wird eine mathematische Rechenebene in Form eines Ellipsoids geschaffen. Die Koordinaten im WGS84-System können ellipsoidisch in Form von Breite, Länge und Höhe angegeben werden, aber auch in kartesischer Form mit X, Y und Z, wobei der Ursprung des Systems durch den Massenschwerpunkt der Erde (Geozentrum) definiert ist.

Bei den meisten vermessungstechnischen Anwendungen erfolgt eine Transformation in ein regionales Bezugssystem z.B. das S42/83 GK, wobei in den meisten Fällen auch ein anderes Rotationellipsoid als Rechenebene zu Grunde liegt wie hier das Krassowskellipsoid.

Zur Umrechnung von einem Bezugssystem in ein anderes ist eine räumliche Transformation, eine so genannte 7 Parametertransformation erforderlich. Die Transformationsparameter werden aus Punkten bestimmt, deren Koordinaten in beiden Systemen bekannt sind. Im Einzelnen beschreiben diese Parameter drei achsparallele Verschiebungen, drei Rotationen um die Koordinatenachsen und ein Maßstabsfaktor. Da die identischen Punkte in den jeweiligen Systemen durch Vermessungen bestimmt wurden und somit zwangsläufig mit Fehlern behaftet sind, ist der Übergang von einem Bezugssystem in ein anderes mathematisch nicht eindeutig. Die Umrechnung von geographischen in kartesische Koordinaten erfolgt über eine zweite Transformation.

Das Gauß-Krüger-Koordinatensystem „S42/83 GK“ ist ein kartesisches System mit metrischen Koordinaten (Rechts- und Hochwert). Die Erde wird dazu in  $3^\circ$  breite Meridianstreifen aufgeteilt, wobei jeder Streifen vom Nord- bis zum Südpol verläuft und eine Kennziffer erhält. Die Kennziffer leitet sich aus der Gradzahl ab wie z.B.  $12^\circ / 3 = 4$ . Der Ursprung des Koordinatensystems ist der Schnittpunkt vom Mittelmeridian und Äquator. Die Y-Koordinate zählt vom Ursprung positiv nach Osten, hierbei wird ein konstanter Wert von 500.000 m addiert und die Kennziffer des Meridians voran geschrieben. Die X-Achse bzw. der Hochwert verläuft positiv nach Norden, parallel zur Nordrichtung des Mittelmeridians. [BAUER, 2003; gpsv08]

### 3.3.2 Zeitsystem

Das GPS-Zeitsystem stützt sich auf eine große Anzahl systemeigener Atomuhren, welche sich in den Monitorstationen des GPS-Kontrollsegments und in den Satelliten befinden. Somit hat GPS ein eigenes unabhängiges Zeitsystem.

Die Zeitangabe erfolgt in Einheiten „GPS-Wochen“ plus der Sekundenanzahl innerhalb dieser Woche (eine Woche = 604 800s). Die GPS Woche beginnt um Mitternacht zwischen Samstag und Sonntag. Der Beginn und damit Bezugszeitpunkt dieser Zeitmessung war der 6. Januar 1980, 0 UTC (*Universal Time Coordinated*). Nach einem Zyklus von 1024 Wochen wird der Wochenzähler wieder auf Null gesetzt. Dieses wurde am 22.08.1999 realisiert.

Die Differenz zwischen der GPS-Zeit und der UTC beträgt z. Zt. 14 Sekunden. Der aktuelle Zeitunterschied wird regelmäßig veröffentlicht und den Nutzern in der Navigationsnachricht mitgeteilt.

In dem vom BKG (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*) zur Verfügung gestellten GPS-Kalender (<http://gibs.leipzig.ifaq.de/GIBS/MISC/CALEND/Calendar2008.pdf>) kann man die GPS-Woche und den Tag des Jahres ersehen. [LANDESVERM, 2006; wiki08]

## 3.4 Signalstrukturen

### 3.4.1 Grundprinzip

Das Grundprinzip der Satellitenpositionierungsverfahren ist der räumliche Bogenschnitt. Ist man in der Lage, die Zeit, welche das Signal vom Satelliten zum Empfänger benötigt, exakt zu bestimmen, so lässt sich die Entfernung zwischen Satelliten und Empfänger berechnen. Die von einem Satelliten ausgesandten Signale sind elektromagnetische Wellen, welche sich im Vakuum konstant mit einer Geschwindigkeit von 299.792.458 m/s ausbreiten.

Beim GPS-Verfahren wird die Signallaufzeit zwischen dem Zeitpunkt der Aussendung im Satelliten und dem Empfang am Empfänger gemessen. Die Entfernung  $s$  zum Satelliten berechnet sich aus der gemessenen Laufzeit  $\Delta T$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$ .

$$s = \Delta T * c$$

Dadurch kann theoretisch die 3D-Position des Empfängers als räumlicher Bogenschnitt aus den Entfernungen zu drei Satelliten berechnet werden.

Der mittlere Abstand eines GPS-Satelliten von der Erdoberfläche von ca. 20.200 km führt auf eine Größenordnung der Laufzeit von ca. 0,07 Sekunden. Für derartige Kurzzeitmessungen werden präzise Uhren benötigt, die zudem auch aufeinander abgestimmt sein müssen. Dies wird gewährleistet durch die hochgenauen Atomuhren in den Satelliten und die ständige Synchronisierung durch das GPS-Kontrollsegment. Jedoch werden in den Empfängern aus Platz- und Kostengründen erheblich preiswertere, aber auch ungenauere Quarzuhrn verwendet. Somit verbleibt also ein Uhrenfehler zwischen den Satellitenuhren und der Quarzuhr im Empfänger, was dazu führt, dass die Entfernung nur als Pseudostrecke bestimmt werden kann.

Neben den drei unbekannten Koordinaten (X, Y und Z) gehört somit zur Positionsbestimmung auch der Uhrenfehler  $\delta t$ . Zur Bestimmung der vier Unbekannten (X, Y,

$Z$  und  $\delta t$ ) sind Laufzeitmessungen zu mindestens vier Satelliten notwendig. Benutzt man also 4 oder mehr Satelliten zur Positionsbestimmung, wird der Uhrenfehler ausgeschaltet.

Um die Wichtigkeit der Uhrzeit in Zahlen zu fassen, sei erwähnt, dass ein Satellit in einer Sekunde einen Weg von etwa 3,5 km zurücklegt. Das heißt, ein Zeitfehler von nur wenigen Millisekunden würde die zu bestimmende Positionskoordinate um einige Meter verschieben.



Abb. 3.4.1: Kleine Atomuhr [kowo08]

Wie schon angeführt, ist das Herzstück eines jeden Satelliten die Atomuhr (Abb. 3.4.1), wovon jeder Satellit gleich mehrere an Bord hat. Jede Atomuhr ist ein hochpräziser Oszillator, aus dem eine Frequenz von  $f_0 = 10,23$  MHz (Fundamentalfrequenz) abgeleitet wird. Diese Grundfrequenz der Uhren dient der Bildung sämtlicher Frequenzen, welche in den GPS-Satelliten benötigt werden. [BAUER, 2003, LANDESVERM, 2006]

### 3.4.2 Trägerfrequenzen

Zwischen Satellit und Empfänger muss die Entfernung bestimmt werden. Dazu senden die GPS-Satelliten permanent zwei Trägersignale im Mikrowellenbereich, im so genannten L-Band, (1000-2000 MHz), welche durch den Empfänger ausgewertet werden. Diese zwei Trägersignale bezeichnet man als  $L_1$  und  $L_2$  und werden aus der Fundamentalfrequenz abgeleitet, welche folgenden Frequenzen aufweisen:

$$L_1: f_1 = 1575,42 \text{ MHz} = 154 \times 10,23 \text{ MHz} \text{ (Wellenlänge: 19,05 cm)}$$

$$L_2: f_2 = 1227,60 \text{ MHz} = 120 \times 10,23 \text{ MHz} \text{ (Wellenlänge: 24,45 cm).}$$

Jeder GPS-Satellit sendet auf diesen beiden Frequenzen. Eine Unterscheidung der Satelliten durch den Empfänger wird durch verschiedene Signalcodierungen realisiert. [BAUER, 2003]

### 3.4.3 Codes

Im Grunde ist eine Bestimmung der Entfernung zwischen Satellit und Empfänger durch die reine Trägerphasenmessung möglich, jedoch werden weitere Angaben, wie Satellitenuhrenkorrekturen, Bahndaten oder Satellitenstatus benötigt. Zum Übertragen dieser

Informationen werden die Satellitensignale mit einer zusätzlichen Struktur versehen. Dies wird erreicht, indem den Trägerfrequenzen PRN-Codes (*Pseudo Random Noise*) aufmoduliert werden. Durch eine Folge aneinander gereihter positiver und negativer Werte (-1 oder +1) wird der Code gebildet. Der Code hat das Erscheinungsbild einer reinen Zufallsfolge, tatsächlich ist er jedoch für jeden der Satelliten festgelegt. Die PRN-Codes werden in C/A-Code (*Clear Acquisition*) und P-Code (*Precise*) unterschieden.

Der Code hat zwei Funktionen. Zum einen werden die Satelliten identifiziert, wobei das Code-Muster jedes Satelliten eindeutig ist und im Empfänger mit den jeweils bekannten Mustern verglichen werden kann. Und zum anderen wird die Laufzeit durch Ablesung der Satellitenuhren gemessen, mit deren Hilfe der Abstand zwischen Satellit und Empfänger berechnet wird. [BAUER, 2003]

### 3.4.4 Codierung des L<sub>1</sub>- bzw. des L<sub>2</sub> Signals

Durch Multiplikation der Fundamentalfrequenz  $f_0$  mit dem Faktor 154 bzw. 120 (Abb.3.4.4-1) entstehen die Trägerfrequenzen L<sub>1</sub> bzw. L<sub>2</sub>.

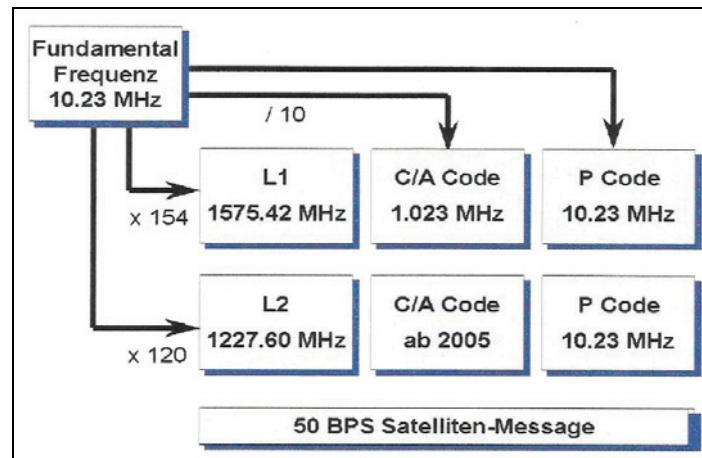


Abb. 3.4.4-1: Codierung der GPS-Signale [allsat08]

Jede dieser Trägerfrequenz wird in eine Sinus- und in eine Kosinuswelle zerlegt, so dass nun praktisch jeweils zwei Träger zur Verfügung stehen. Zum ersten wäre da die Sinuswelle mit der C/A-Code- sowie der Daten-Modulation und zum zweiten die Kosinuswelle, wobei hier der P-Code und die Navigationsnachrichten ebenfalls aufmoduliert werden. Damit sich die beiden Codes nicht stören, wird die Kosinuswelle durch eine Phasenverschiebung von 90 Grad erzeugt.

#### 3.4.4.1 C/A-Code Modulation

Der C/A-Code, was soviel wie „Grobe Bestimmung“ bedeutet, ist für alle zivilen GPS-Empfänger die Basis, da es sich um eine allgemein zugängliche Codierung handelt.

Der C/A-Code wird der Trägerwelle L<sub>1</sub> sowie auch der Trägerwelle L<sub>2</sub> mit einer Frequenz von 1,023 MHz aufmoduliert.

Der Code selbst besteht aus 1023 Chips. Ein Chip ist mit einem Bit gleichzusetzen, also eine Eins oder eine Null, und hat eine Periode von einer Millisekunde (ms). Das bedeutet, dass die einmalige Übertragung oder die Wiederholung der 1023 Chips 1 ms beansprucht (Chip-Rate von 1023000 chip/s = 1,023 MHz).

Moduliert werden 1540 ganze Wellenstücke der Trägerfrequenz mit 1023 Chips des C/A-Codes (Verhältnis Trägerfrequenz zu Chip-Rate), bevor der C/A-Code erneut aufmoduliert werden kann.

Die Länge eines Chips beträgt 293 m, welche sich aus der Wellenlänge der Trägerfrequenz  $\lambda_1 = 0,1905$  m und der Anzahl der ganzen Wellenstücke 1540 ergibt.

Sowohl der Satellit als auch der Empfänger erzeugen den gleichen PRN-Code zu exakt der gleichen Zeit. Dadurch dient der Code sowohl zur Identifikation des Satelliten durch den Empfänger, als auch zur Positionsbestimmung, allerdings mit einer eingeschränkten Genauigkeit. [BAUER, 2003]

#### 3.4.4.2 P-Code Modulation

Die Basis für eine präzise Positionsbestimmung ist der P-Code. Der P-Code hat eine Periode von 267 Tagen. Tatsächlich wird für jeden Satelliten ein sieben Tage langer Abschnitt verwendet. Die Auswertung des Signals ist eindeutig, weil diese wöchentliche Periode größer als die Signallaufzeit vom Satellit zum Empfänger ist.

Die Taktfrequenz des P-Codes entspricht der Grundfrequenz  $f_0 = 10,23$  MHz des Satellitenoszillators. Beim P-Code beträgt die Chiplänge 29,3 m.

Der schnelle Takt der Phasenmodulation gewährleistet eine genauere Zeitmessung und dadurch eine größere Genauigkeit in der Entfernungsmessung, die etwa zehnmal so groß wie bei der C/A-Modulation ist. [BAUER, 2003]

#### 3.4.4.3 Daten-Modulation

Weiterhin wird auf  $L_1$  und  $L_2$  die so genannte Navigationsnachricht (Abb. 3.4.4.3) übertragen. Diese Nachricht enthält notwendige Daten für den Nutzer wie die Satellitenbahnen (*Broadcast Ephemeris*), Uhrenkorrekturparameter, Zustandsparameter der Ionosphäre, sowie aktuelle Prognosen über die Satellitenbahnen (*Almanach*).

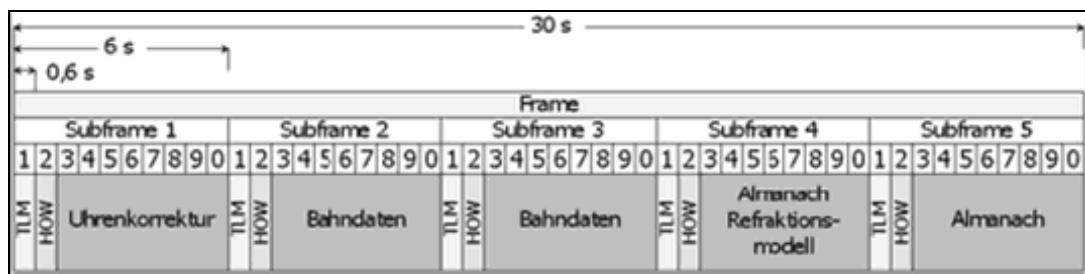


Abb. 3.4.4.3: Struktur der GPS-Navigationsdaten eines „frames“ [kowo08]

Das Datensignal unterteilt sich in 25 Blöcke (*frames*), welche jeweils 1500 Bit lang sind und mit einer Geschwindigkeit von 50 Bit/s übertragen werden, d.h. zur Übertragung eines Blocks werden 30 Sekunden gebraucht. Ein einzelner Block wird wiederum in fünf Teilblöcke

(*subframes*) und diese sind dann jeweils in 10 Worte (*word*) von je 30 Bit unterteilt. Das erste Wort jedes Teilblocks ist das TLM (*telemetry word*), welches dem GPS-Nutzer Auskunft über die Bahnkorrekturen der Satelliten gibt. Als zweites Wort folgt das HOW (*hand over word*). Es beinhaltet die Zeit seit dem letzten „Neustart“ der GPS-Zeit am jeweils vorherigen Sonntag 0:00 Uhr.

Der erste Teilblock „subframe 1“ gibt Informationen über Zustand und Genauigkeit des sendenden Satelliten sowie Uhrenkorrekturwerte. Der zweite und dritte Teilblock enthält die Parameter zur Berechnung der Ephemeriden. Im vierten und fünften sind die Almanachdaten untergebracht, die Informationen über Bahnparameter aller Satelliten, deren technischen Zustand und ihre momentane Konfiguration, Identifikationsnummer usw. enthalten.

Bei allen 25 Blöcken sind die ersten 3 Teilblöcke immer dieselben, somit erhält der GPS-Nutzer alle 30 Sekunden die wichtigsten Daten zur Positionsbestimmung. [BAUER, 2003]

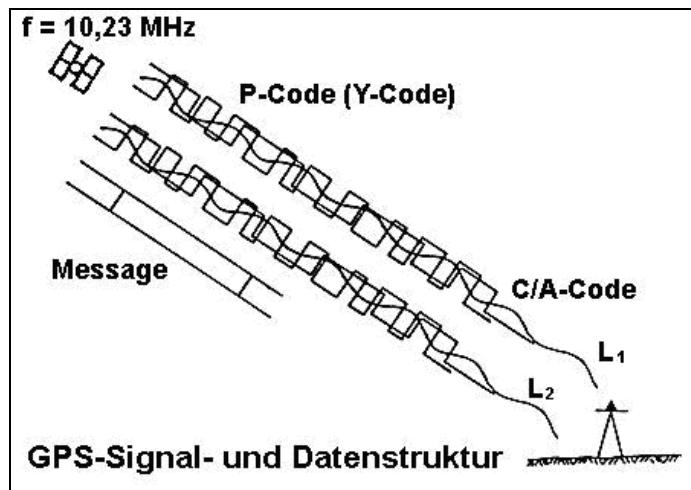


Abb. 3.4.4-2: GPS-Signal- und Datenstruktur [gis08]

## 3.5 Auswertung der Code- und Trägerphasenmessung

Im Allgemeinen kann die Entfernung zwischen Satellit und Empfänger mit zwei verschiedenen Verfahren bestimmt werden. Erreicht wird dies entweder über das Messen und Auswerten der Codephase oder durch eine Trägerphasenmessung.

### 3.5.1 Codemessung

Bei der Messung der Codephase wird die Berechnung der Laufzeit der Satellitensignale durch das Prinzip der Kreuzkorrelation realisiert.

Der Empfängeroszillator generiert hierbei ein Duplikat des vom Satelliten emittierten C/A-Codes. Durch Verschieben beider Codes versucht der Empfänger sie zur Übereinstimmung zu bringen, also beide Codes zu korrelieren. Somit wird die Zeitdifferenz zwischen Aussenden und Empfangen des Signals ermittelt.

Sind beide Codes durch das Verschieben des rekonstruierten Signals gleich, stimmen sie in Frequenz und Phase überein. Der Betrag der Verschiebung kommt dem Zeitraum  $\Delta t$  gleich, den das Signal vom Satelliten zum Empfänger benötigt hat.

In analoger Weise erfolgt die Auswertung des genaueren P-Codes, sofern der Empfänger in der Lage ist, diesen zu entschlüsseln. [BAUER, 2003]

### 3.5.2 Trägerphasenmessung

Für Lagebestimmungen mit hochgradigerer Genauigkeit ist es notwendig, Phasenvergleichsmessungen direkt mit den Trägerfrequenzen  $L_1$  und  $L_2$  auszuführen. Die im Vergleich zu den Codes bedeutend geringeren Wellenlängen erlauben eine genauere Berechnung der Laufzeit.

Auch hier erzeugt der Empfänger ein Referenzsignal, welches mit dem empfangenen Signal übereinander gebracht wird. Durch die Überlagerung dieser beiden Satellitensignale entsteht ein niederfrequentes Mischsignal. Seine Phase ist bedeutend einfacher auszuwerten und stellt somit die eigentliche Beobachtungsgröße dar. Mit dieser Maßnahme ist es möglich, die Phasendifferenz der beiden hochfrequenten Signale zu bestimmen.

Im Unterschied zur Codemessung ist das Problem bei der Trägerphasenmessung die Bestimmung der Anzahl  $N$  ganzer Wellenlängen (siehe Kapitel 3.7.2). Diese Unbekannte wird als Phasenmehrdeutigkeit bezeichnet. [BAUER, 2003]

## 3.6 Fehlereinflüsse und Genauigkeitsangaben

Bei GPS-Messungen können Fehler in verschiedenen Bereichen auftreten und die Genauigkeit der Messungen beeinträchtigen. Diese lassen sich überwiegend den zwei Gruppen stationsabhängiger und entferungsabhängiger Fehler zuordnen. Einige Fehlereinflüsse können differenziell korrigiert werden, andere natürliche Störungen, deren Einfluss man nicht verhindern kann, bleiben in den Messwerten vorhanden.

### 3.6.1 Stationsabhängige Fehlereinflüsse

Nicht immer erreichen die Satellitensignale das Antennenphasenzentrum auf direktem Weg. Die über Umwege zur Empfangsantenne gelangten Signale und daneben auch baubedingte Fehler der Empfänger, unterliegen Signalausbreitungsfehler, die hier näher erläutert werden.

#### 3.6.1.1 Mehrwegeausbreitung (Multipath)

Gelangt das Signal vom Satelliten nicht auf direktem sondern auf indirektem Weg (Reflexion) zur Empfangsantenne, treten Mehrwegeeffekte (Abb. 3.6.1.1) auf. Die indirekte Welle wird durch eine geeignete Oberfläche in der Nähe der Antenne reflektiert und dann empfangen, wobei die direkte Welle unmittelbar den Weg vom Satelliten zum Empfänger durchläuft. Dieser Vorgang führt zu einer Überlagerung der beiden Signale. Dabei weisen die

reflektierten Signale eine längere Laufzeit auf und es kommt bei der Auswertung zu einem Streckenfehler. Gerade zwischen hohen Gebäuden kann es durch mehrfach reflektierte Signale zu Ungenauigkeiten kommen.

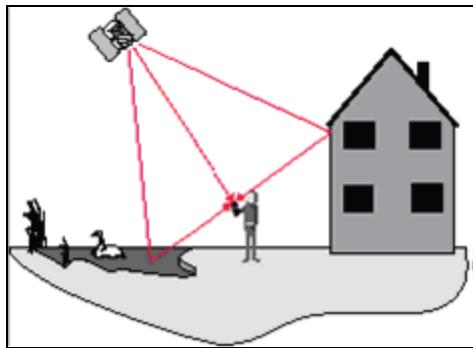


Abb. 3.6.1.1: Mehrwegeausbreitung [lgb00]

In der Praxis betragen diese Fehler maximal 2 bis 3 cm. Mehrwegeeffekte können durch die sorgfältige Wahl des Empfängerstandpunktes und der Vermeidung reflektierender Objekte, wie z.B. durch Wände, Autos, Wasserflächen usw., verringert werden. Dies ist in der Praxis meist nicht immer umzusetzen, daher gibt es weitere Maßnahmen wie die Verwendung einer Choke-Ring-Antenne, längere Beobachtungszeiten und die Beobachtung der gleichen Satellitengeometrie an aufeinander folgenden Tagen.

Jedoch ist eine vollständige Beseitigung des Mehrwegeeinflusses nicht möglich und es muss davon ausgegangen werden, dass in jedem Ergebnis Mehrwegeeinflüsse vorhanden sind. [BAUER, 2003; LANDESVERM, 2006]

### 3.6.1.2 Signalbeugung

Signalbeugung tritt ein, wenn Sichthindernisse am Horizont den Empfang des direkten Satellitensignals behindern und das Signal an den abschattenden Objektkanten gebeugt wird. Somit können indirekte Signale empfangen werden, obwohl keine direkte Sichtverbindung zum Satellit besteht.

Wie bei der Mehrwegeausbreitung weisen auch hier die indirekten Satellitensignale längere Laufzeiten auf, die zu Entfernungsfehlern führen. Der Messfehler entspricht hierbei aber dem tatsächlichen Weg des indirekten Signals da es nicht zur Signalüberlagerung kommt. Anhand der sehr geringen Signalamplitude sind die gebeugten Signale gut zu erkennen. Bisher wird diese Eigenschaft selten von Auswerteprogrammen genutzt um Signalbeugungseinflüsse zu eliminieren. Daher werden Fehler durch Signalbeugungen in der Regel nicht verhindert. [BAUER, 2003]

### 3.6.1.3 Antennenphasenzentrum

Der Bezugspunkt einer jeden GPS-Messung ist das elektrische Antennenphasenzentrum welches nicht exakt mit dem mechanischen Zentrum (Abb. 3.6.1.3) der Antenne

übereinstimmt. Das elektrische Phasenzentrum verändert seine Lage, es ist abhängig, aus welcher Richtung und mit welcher Intensität das GPS-Signal in die Antenne eintrifft.

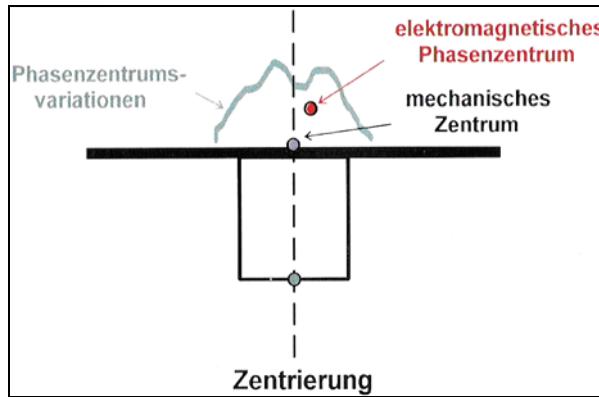


Abb. 3.6.1.3: Antennenphasenzentrum [BULL, 2001]

Bei der Verwendung baugleicher Antennen sind die Fehler der Antennenphasenzentren ähnlich. Wenn alle Antennen nach Norden ausgerichtet werden, wird der Fehler weitestgehend eliminiert.

Bei präzisen Anwendungen muss die Position des Phasenzentrums bestimmt werden, dies kann durch eine Kalibrierung der Antenne genau ermittelt werden. Auf Grund des geringen Fehlereinflusses ist für meine Anwendungen die Kenntnis über die Position des tatsächlichen Phasenzentrums unerheblich. Aus diesem Grund gehe ich nicht weiter auf die Verfahren der Antennenkalibrierung ein. [BULL, 2001; BAUER, 2003]

### 3.6.1.4 Messrauschen

Beim Messrauschen handelt es sich um einen zufälligen Fehler, der durch den Vorgang im Empfänger, welcher nicht ganz perfekt die Beobachtungen der Signale durchführt, beeinflusst wird. Das Messrauschen ist vom Signal-Rausch-Verhältnis (SNR; **Signal-to-Noise-Ratio**) am Eingang des Empfängers abhängig. Die Wirkung des Messrauschen ist direkt proportional der Wellenlänge des Codes. Hochwertige Empfänger geben Informationen über dieses Signal-Rausch-Verhältnis an, welches meist in dBHz angegeben wird. [BAUER, 2003; MANSFELD, 1998]

### 3.6.2 Entfernungsabhängige Fehlereinflüsse

Die entfernungsabhängigen Fehlereinflüsse können im Gegensatz zu den stationsabhängigen Fehlern bei der relativen Positionierung im DGPS-Verfahren (siehe Kapitel 3.9.1) mit Hilfe der Korrekturen weitestgehend eliminiert werden. Sie beinhalten die Fehler aus der Ionosphäre, der Troposphäre und den Satellitenbahnen.

### 3.6.2.1 Ionosphärische Refraktion

Unter ionosphärischer Refraktion bezeichnet man die für eine elektromagnetische Welle disperse Laufzeitverzögerung und Strahlenkrümmung der Signale in der oberen Atmosphäre in einem Höhenbereich von 80 bis 1000 km.

Durch die sich mit der Höhe ändernde Brechzahl erfährt das Satellitensignal eine Richtungsänderung und somit einen längeren Laufweg beim Durchqueren der Ionosphäre.

Durch die Sonneneinstrahlung werden Elektronen ionisiert, wobei die Schwankungen der Elektronendichte von der tages- und jahreszeitlichen Periode, der geographischen Breite und vom Sonnenzyklus abhängig sind. Außerdem ist die unstete Signalverzögerung durch die Elevation der Satelliten bestimmt. Dies ist mit dem längeren Weg der Signale durch die Atmosphäre (Abb. 3.6.2.1) zu begründen.

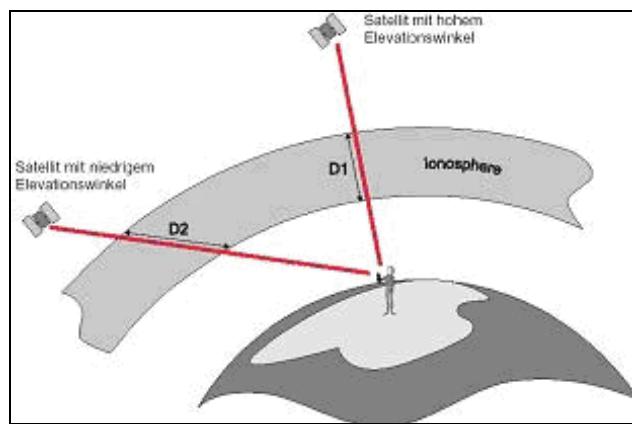


Abb. 3.6.2.1: Längere Laufzeit des Satellitensignals bei geringer Elevation [lgb00]

Durch die Verwendung eines Zweifrequenz-Empfängers kann die Verzögerung durch den Vergleich der Ankunftszeiten beider Signale  $L_1$  und  $L_2$  genau berechnet werden. [LANDVERM, 2006; KNICKMEYER, 2003]

### 3.6.2.2 Troposphärische Refraktion

Unter troposphärischer Refraktion versteht man die für eine elektromagnetische Welle nicht disperse Laufzeitverzögerung und Strahlenkrümmung der Signale in der unteren Atmosphäre in einem Höhenbereich von 0 bis 10 km. Anlass hierfür sind die abwechselnden Wettersituationen bedingt durch die unterschiedlichen Wasserdampfkonzentrationen in der Troposphäre. Man unterscheidet den troposphärischen Einfluss in einen trockenen Anteil, der vom Luftdruck und der Temperatur abhängig ist und in einen vom Wasserdampfgehalt abhängigen feuchten Anteil. Die trockene Komponente macht rund 90% des Gesamteffekts aus. Sie lässt sich wegen ihrer geringen räumlichen und zeitlichen Veränderung leichter modellieren als die feuchte Komponente.

Auch hier wirken sich Elevationen der Satelliten negativ auf die Positionsbestimmung aus, daher sind Satelliten, die dicht über den Horizont liegen für GPS-Messungen nicht geeignet.

Da die Laufzeitverzögerung in der Troposphäre frequenzunabhängig ist, kann diese nicht durch eine Auswertung zweier unterschiedlicher Frequenzen bestimmt werden. Nur durch

die Benutzung von geeigneten Modellen, wo die meteorologisch Parameter erfasst sind, ist eine Reduzierung des troposphärischen Einflusses auf die Entfernungsmessfehler möglich. [LANDVERM, 2006; KNICKMEYER, 2003; kowo08]

### 3.6.2.3 Satellitenbahnfehler

Satelliten bewegen sich auf sehr präzisen vorausrechenbaren Umlaufbahnen. Dennoch kommt es zu geringen Abweichungen der vorher berechneten Bahnen. Ursachen sind unter anderem die atmosphärische Reibung, der Strahlendruck der Sonne sowie das Schwerefeld der Sonne und des Mondes. Die Satellitenbahnfehler sind keine Beobachtungsfehler, da diese Fehler zeitabhängig und schwer vorhersehbar sind.

Die Abweichungen der berechneten Bahnpараметer von der tatsächlichen Bahn des Satelliten wirken sich direkt bei der Auswertung der Messung aus. Denn hier wird mit der Position der Satelliten gearbeitet. Wenn diese falsch ist, beeinflusst das die Auflösung der Mehrdeutigkeiten und die Koordinatenlösung.

Bahnfehler haben keinen wesentlichen Einfluss auf kurze Basislinien, welche eine Länge von wenigen Kilometern haben. [BAUER, 2003; LANDVERM, 2006; kowo08]

### 3.6.2.4 Uhrenfehler

Unter Uhrenfehler versteht man die Abweichung der Satellitenzeit von der GPS-Systemzeit. Der Uhrenfehler beeinträchtigt die Genauigkeit der Bahndaten, da die Ephemeriden einer falschen Zeit zugeordnet werden. Es gibt zwei Arten von Uhrenfehlern. Zum einen den Satelliten- und zum anderen den Empfängeruhrenfehler.

Da bei den Empfängern aus Kostengründen einfache Quarzuhrnen eingebaut werden, weisen diese im Vergleich zu den Satellitenuhren recht große Laufzeitfehler auf.

Obwohl die Genauigkeit der Satellitenzeit durch eine Atomuhr gewährleistet wird und das Kontrollsegment die GPS-Systemzeit in Bezug zur Satellitenzeit konstant hält, bleibt auch hier ein Restfehler. Diese Restfehler belaufen sich trotz Uhrzeitkorrektur auf bis zu einem Meter bei der Streckenmessung. Durch die differenzielle Anwendung kann der Fehler weitestgehend beseitigt werden. [BAUER, 2003; LANDVERM, 2006]

## 3.6.3 Genauigkeitsangaben

Um bereits während der Messung selbst eine Abschätzung der möglichen Genauigkeit der Punktbestimmung bereitzustellen, wurde der Dilution of Precision - „Verdünnung der Präzision“, kurz DOP genannt, eingeführt. Der DOP-Wert ist somit eine Angabe für die Güte der Satellitengeometrie und bezieht sich dabei auf die räumliche Verteilung der Satelliten am Himmel.

Bei mehr als vier sichtbaren Satelliten kann man die geometrisch günstigste Konstellation berechnen und die zu erwartende Qualität der Lösung mit dem DOP-Werten angeben.

Ungünstige Satellitenkonstellationen, z.B., wenn nur vier dicht beieinander stehende Satelliten aus einer Richtung zur Positions berechnung zur Verfügung stehen, führen zu

großen Ungenauigkeiten. Räumlich gut verteilt sind die Satelliten, wenn sich einer im Zenit und die restlichen drei sich, um  $120^\circ$  verteilt, tief über den Horizont befinden. Somit ergibt sich zwar ein geometrisch optimaler Schnitt, jedoch sind die Satellitensignale mit einer derart niedrigen Elevation stark von den oben genannten Fehlerquellen betroffen. Für präzise GPS-Messungen sollten nur Satelliten, die mindestens  $15^\circ$  über den Horizont stehen, beobachtet werden. Die Elevationsmaske kann manuell vor einer Messung im GPS-Empfänger eingegeben werden. Für eine exakte Positionsermittlung sollten möglichst Satellitensignale aus verschiedenen Himmelsrichtungen empfangen werden.

Es können unterschiedliche DOP-Werte berechnet werden, welche für folgende Abkürzungen stehen:

- VDOP - vertikaler DOP, Maß für die Genauigkeit in vertikaler Richtung;
- HDOP - horizontaler DOP, Maß für die Genauigkeit in horizontaler Richtung;
- PDOP - Positions-DOP, Maß für die Genauigkeit der dreidimensionalen Positionsbestimmung;
- GDOP - geometrischer DOP, Maß für die Genauigkeit der im Raum bestimmten Position einschließlich der Zeit (vierdimensional).

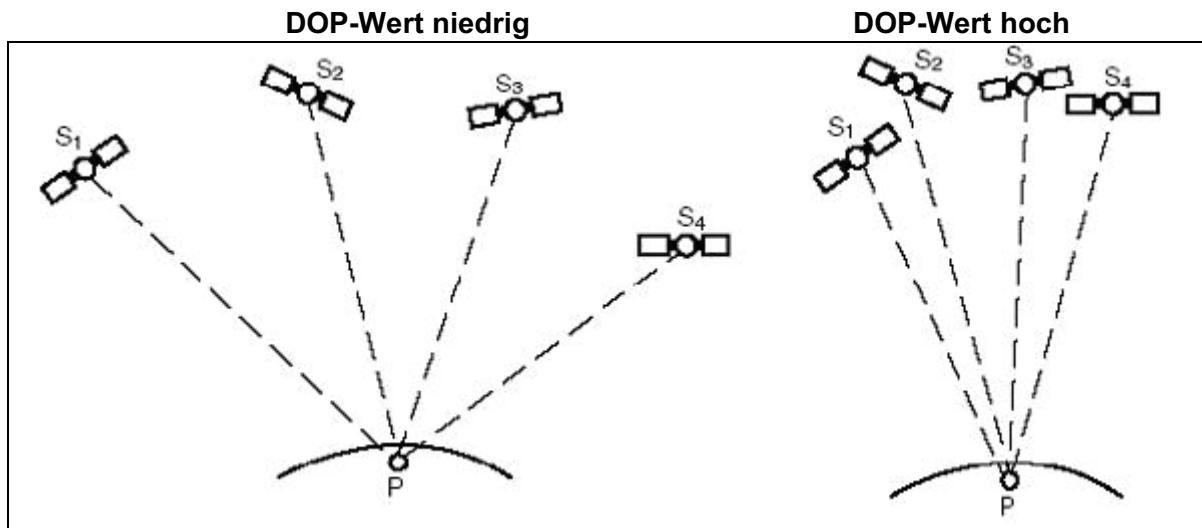


Abb. 3.6.3: DOP-Werte in Abhängigkeit der Satellitengeometrie [SEEBER, 1996]

Je kleiner die DOP-Werte (Abb. 3.6.3) sind, desto präziser sind die ermittelten 3D-Koordinaten für den messtechnisch bestimmten Punkt. [BAUER,2003; lgb00]

## 3.7 Positionierung mit GPS

### 3.7.1 Absolute Positionierung

Vom Kontrollsegment werden die Positionen der Satelliten vorausberechnet und an die Satelliten gesandt. Diese geben wiederum die Informationen (Broadcast-Ephemeriden) in ihrer Navigationsnachricht an den Nutzer weiter. Die Position der Satelliten kann als gegeben vorausgesetzt werden, da sich die Standorte der Satelliten zu jedem Zeitpunkt über die Parameter im WGS84 berechnen lassen.

Werden nun Pseudoentfernungen zu mindestens vier Satelliten bestimmt, wird daraus die Standpunktkoordinate des Empfängers im WGS84 durch einen räumlichen Bogenschlag berechnet. Jede Messung zu einem fünften oder weiteren Satelliten erzeugt eine Überbestimmung. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt durch die Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate.

Bei der Einzelpunktbestimmung (absolute Punktbestimmung) (Abb. 3.7.1) ist mit einem autonomen Empfänger eine Genauigkeit von ca. 3 bis 10 m erreichbar. Eine Verbesserung der Genauigkeit dieser so genannten Navigationslösung ist möglich, indem eine längere Aufzeichnungsdauer mit anschließender Mittelwertbildung gewählt wird. Die erreichbare Genauigkeit ist allerdings begrenzt, da viele die Signalausbreitung beeinflussende Faktoren vernachlässigt oder nur unkorrekt berücksichtigt werden.

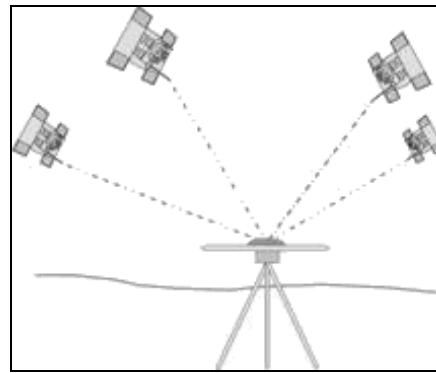


Abb. 3.7.1: Prinzip der absoluten Positionierung [gfz08]

So werden systematische Fehlereinflüsse einzig anhand von allgemeingültigen Modellen korrigiert. Eine genauere Korrektur dieser Fehlereinflüsse ist nur durch den Einsatz der Zweifrequenz-Empfänger möglich, da hier die Verzögerung beider Signale über den Vergleich der Empfangszeiten bestimmt werden kann.

Durch die begrenzte Genauigkeit der Einzelpunktbestimmung ist dieses Verfahren für geodätische Zwecke nicht genau genug und wird kaum in der Vermessung eingesetzt. Für Navigations- und Ortungszwecke ist es dagegen von großer Bedeutung. [LANDESVERM, 2006]

### 3.7.2 Relative Positionierung

In der Vermessung wurden spezielle Lösungen gesucht, um eine deutlich höhere Genauigkeit zu erreichen als bei der absoluten Punktbestimmung.

Dazu werden differentielle Verfahren (Abb. 3.7.2) angewandt, wobei zwei oder mehrere Empfänger dieselben Satelliten beobachten und sich mindestens ein Empfänger zeitweise auf einem Referenzpunkt befindet. Die Koordinaten des Referenzpunktes setzt man als bekannt voraus.

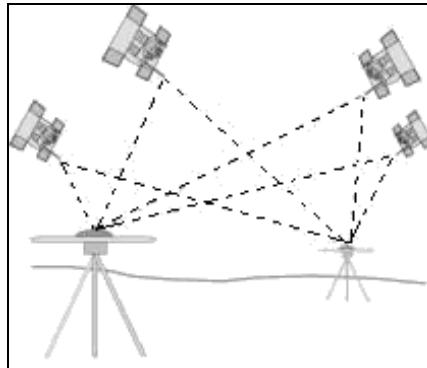


Abb. 3.7.2: Prinzip der relativen Positionierung [gfz08]

Grundgedanke hierbei ist, dass bei der Auswertung durch Differenzbildung ein Teil der beschriebenen Fehlereinflüsse (Kapitel 3.6) deutlich verringert werden. Fehlereinflüsse, die auf beiden Standpunkten gleich wirken, wie z.B. Satelliten- und Empfängeruhrfehler, werden vollständig eliminiert. Fehlereinflüsse durch die Signalverzögerungen in der Ionosphäre und Troposphäre sowie die Satellitenbahnhfehler werden in Abhängigkeit von der Stationsentfernung verringert. Dadurch werden zwar immer noch die Absolutpositionen, aber nicht die Positionsunterschiede beeinflusst.

Aus dem zuvor ermittelten Koordinatenunterschied und der Addition der bekannten Koordinaten des Referenzpunktes kann nun die absolute Position des zweiten Empfängers sehr genau bestimmt werden.

Während die Einzelpunktbestimmung nur mit Codemessungen möglich ist, kann die relative Punktbestimmung mittels Auswertung des Codes und der Trägerphase (siehe Kapitel 3.5) erfolgen. Bei Verwendung letzterer Variante ist eine höhere Genauigkeit zu erzielen, jedoch ist zusätzlich die Bestimmung der Mehrdeutigkeit notwendig. Der Nachteil liegt darin, dass nur das Reststück der gesamten Strecke zwischen Satellit und Empfänger gemessen werden kann. Somit muss die unbekannte Anzahl ganzer Wellen zwischen dem Satelliten und dem Empfänger erst ermittelt werden. In der Datenauswertung stellt die Mehrdeutigkeitslösung eine große Herausforderung dar. Zur Bestimmung dieser Phasenmehrdeutigkeit gibt es verschiedene Lösungsansätze. Ist sie einmal bestimmt, bleibt sie während der Messung konstant erhalten, solange es keine Signalunterberechnung gibt. [LANDESVERM, 2006]

## 3.8 Beobachtungsverfahren

Wegen der höheren Genauigkeitsanforderungen in der Geodäsie kommen, wie schon beschrieben, nur relative Positionsbestimmungen zur Anwendung. Dafür stehen verschiedene Beobachtungsverfahren zur Verfügung, wobei die Wahl des Verfahrens abhängig vom Anwendungsbereich ist.

### 3.8.1 Statisches Beobachtungsverfahren

Statische Beobachtungsverfahren sind gekennzeichnet durch lang andauernde und sich wiederholende Messungen auf demselben Standpunkt. Das gleichzeitige Messen auf

---

mehreren Stationen ermöglicht aufgrund des Vernetzungseffekts eine hohe Kontrollierbarkeit zugleich werden Systematische Fehlereinflüsse eliminiert. Hierbei ist es üblich Trägerphasenbeobachtungen mit Zweifrequenz-Empfängern durchzuführen.

Im Hinblick auf die Beobachtungsdauer kann das Verfahren weiter unterteilt werden. Bei Beobachtungszeiten zwischen 30 Minuten und einigen Stunden spricht man von langzeitstatischen Beobachtungen (Static). Diese statische Methode ist ein Verfahren für Messungen auf weit von einander entfernten Standpunkten (Basislängen) und höchsten Genauigkeitsanforderungen. Typische Anwendungsgebiete sind Messungen für Grundlagennetze der Landesvermessung, Netzverdichtungen und Deformationsanalysen. Hierbei werden von zwei Stationen mindestens vier gleiche Satelliten beobachtet. Die Beobachtungszeit ist vom Abstand der Messpunkte (Basislinie), der Anzahl der Satelliten sowie der Satellitengeometrie abhängig. Wichtig ist, dass jeder Messpunkt durch mindestens zwei unabhängige Besetzungen kontrolliert wird.

Bei kürzeren Messzeiten dagegen, spricht man von kurzzeitstatischen Beobachtungen (Rapid Static). Hierbei ist es wichtig, auf möglichst viele Satelliten und kurze Basislinien (ca. 10 bis 15 km Länge) zu achten. Rapid Static wird eingesetzt für Messungen mit etwas geringeren Genauigkeitsforderungen. Ihre Anwendungsgebiete findet man bei der Netzmessung in der Landes- und Ingenieurvermessung.

Im Gegensatz zur Static-Methode werden zur selben Zeit mindestens fünf Satelliten von zwei Stationen beobachtet. Auch hier ist die Beobachtungszeit abhängig von der Anzahl der Satelliten, deren Geometrie und der Basislänge sowie aber auch von der Zahl der genutzten Frequenzen und den ionosphärischen Bedingungen. So wird teilweise die Beobachtungsdauer auf ca. 5 bis 20 Minuten reduziert.

Für die Kontrolle ist auch hier eine Mehrfachbesetzung notwendig, wobei die Wiederholung erst nach ca. einer Stunde sinnvoll wäre, da dann mit einer anderen Satellitengeometrie zu rechnen ist. [LANDESVERM, 2006; BAUER, 2003]

### 3.8.2 Kinematisches Beobachtungsverfahren

Bei dem kinematischen Beobachtungsverfahren sind die beteiligten Empfänger meist in Bewegung bzw. verweilen auf einem zu bestimmenden Punkt nur wenige Sekunden bis Minuten. Hierbei kann die Datenauswertung über Post-Processing also im Nachgang oder in Echtzeit erfolgen. Vorwiegend wird die Bestimmung der Position in Echtzeit durchgeführt. Als übliche Bezeichnung hat sich für dieses Verfahren der Begriff RTK-Messung (Real-Time-Kinematic) durchgesetzt.

Das Verfahren ist vergleichbar mit dem Rapid Static. Im Gegensatz dazu ist ein Empfänger (Rover) beim kinematischen Verfahren ständig in Bewegung. Die Bewegung erfolgt entweder kontinuierlich oder mit kurzen Verweilzeiten auf den Punkten. Letzteres wird als „Stop and go“ -Verfahren bezeichnet und kommt bei der topographischen Punktvermessung, bei Absteckarbeiten und beim Sammeln von Informationen für geografische Informationssysteme zum Einsatz.

Bei Messungen unter Ausnutzung der Trägerphasen werden zu Beginn die Mehrdeutigkeiten in einer Initialisierungsphase gelöst und im Empfänger mittransportiert. Gerade bei kinematischen Messungen kommt es jedoch häufig zu Abschattungen der Antenne durch Bäume, Gebäude oder Ähnlichem. Dies führt mitunter dazu, dass die Signalübertragung zwischen dem Empfänger und dem Satelliten unterbrochen wird. Erst nach einer Neuinitialisierung, die allerdings einige Zeit in Anspruch nimmt, kann die Messung fortgesetzt werden. Um eine Mehrdeutigkeitslösung auch während der Bewegung zu lösen, wurde das „on the fly“ -Verfahren entwickelt. Dazu müssen Beobachtungen zu mindestens fünf Satelliten auf zwei Frequenzen vorhanden sein.

Hingegen bei der Relativpositionierung durch codegestützte Pseudoentfernungsmessungen kann das Problem umgangen werden, da hier die Bestimmung der Mehrdeutigkeiten entfällt. Jedoch ist dieses Verfahren wesentlich ungenauer, dafür aber flexibler einsetzbar. [LANDESVERM, 2006; BAUER, 2003]

## 3.9 Relative GPS-Positionierungen mit einer Referenzstation

Die Grundidee der relativen Positionierung (siehe Kapitel 3.7.2) besteht darin, durch simultane Messungen auf zwei Stationen eine Genauigkeitssteigerung zu erzielen. Positioniert man nun einen der beiden Empfänger auf einem Punkt mit bekannten Koordinaten, können aus dem Vergleich der durch Satellitenbeobachtungen neu ermittelten fehlerhaften Koordinaten mit den bekannten Koordinaten Korrekturwerte abgeleitet werden. Der Empfänger, der diese Funktion erfüllt, wird als Referenzstation bezeichnet.

### 3.9.1 Differentielles GPS (DGPS-Verfahren)

Im Allgemeinen werden beim DGPS die Korrekturdaten einer Referenzstation zu dem GPS-Nutzer gesendet, im Empfänger ausgewertet und somit eine verbesserte und gleichzeitig aktuelle Position bewirkt. Die Korrekturdaten werden über die Referenzstationsdienste bereitgestellt. Die Korrekturdatendienste, wie z.B. die Landesvermessungsämter (SAPOS®) oder die AXIO-NET GmbH (ascos) bieten ihre Daten in verschiedenen Qualitätsstufen an (siehe Kapitel 3.11.3).

Der Nutzer muss dazu neben dem Satellitenempfänger auch über eine Anlage für den Empfang der Korrekturdaten verfügen. Es muss z.B. für eine Echtzeitmessung eine Online-Datenübertragung realisiert sein, welche Code-Korrekturen für die Beobachtungen der L<sub>1</sub>-Frequenz beinhaltet. Zur Übermittlung von Korrekturdaten hat die „Ratio Technical Commission for Maritime Services“ (RTCM) (siehe Kapitel 3.10) ein Datenformat entwickelt, dass die am Markt erhältlichen GPS-Empfänger verarbeiten können. Es stellt eines der gebräuchlichsten Formate dar.

Nachdem beim DGPS die wesentlichen Fehlereinflüsse eliminiert wurden, ist eine weitere Genauigkeitssteigerungen möglich. Das dabei eingesetzte Verfahren wird mit Phasenglättung bezeichnet. Dabei wird das auf ca. 3 Meter genau auflösbare Code-Signal durch gleichzeitiges Auswerten der L<sub>1</sub>-Trägerfrequenz verbessert. In die Berechnung einer Entfernung zum Satelliten werden die gezählten Wellenlängen der Trägerfrequenz mit einbezogen, welche die ständige Änderung des Abstands zwischen Satellit und Empfänger

erfasst. Dabei darf das empfangene Signal mehrere Sekunden lang nicht unterbrochen werden. Nach jeder Unterbrechung fällt die Messgenauigkeit auf den Wert von ca. 3 m zurück und verbessert sich nach etwa 30 Sekunden auf wenige Dezimeter. [BAUER, 2003; gpsv08]

### 3.9.2 Real-Time-Kinematic (RTK)

Bei RTK- oder PDGPS-Messungen (Präzises differentielles GPS) werden wie beim DGPS kinematische Messungen in Echtzeit durchgeführt. Im Gegensatz zum DGPS ist hier eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern erreichbar. Dazu werden neben den Code-Korrekturen auch Trägerphaseninformationen übertragen und ausgewertet. Um das Genauigkeitspotential auszuschöpfen, müssen gleichermaßen die Phasenmehrdeutigkeiten korrekt gelöst werden.

Die RTK-Anwendungen können mit nutzereigenen Referenzstationen durchgeführt werden oder aber auch über einen flächendeckenden Dienst, wie z.B. „ascos“ oder SAPOS®, deren Referenzstationen Phaseninformationen ausstrahlen.

Generell ist bei dieser Anwendung ein Zweifrequenz-Empfänger notwendig, der nur wenige Kilometer von der Referenzstation entfernt sein darf. [BAUER, 2003]

### 3.9.3 Post-Processing

Post-Processing wird unter anderem bei größeren Entfernungen angewandt oder wenn keine direkte Kommunikationsverbindung zwischen Referenzstation und GPS-Nutzer möglich ist. Die im GPS-Empfänger aufgezeichneten Beobachtungsdaten von zwei synchron besetzten Stationen werden nachträglich durch Software zusammengeführt und ausgewertet. Die Auswertung im Nachhinein erreicht eine cm-genaue Positionsbestimmung, wozu auch eine Mehrdeutigkeitslösung notwendig ist.

Von den Referenzstationen, dem so genannten Service-Anbieter, können auch bei dieser Methode Beobachtungsdaten erhalten werden. Ein großer Vorteil bei der Verwendung der nutzerfremden Referenzstationen ist, dass der Nutzer in der Lage ist, relative und damit genauere Positionsbestimmungen durchzuführen. [BAUER, 2003]

## 3.10 Datenformate

Für den Austausch von Rohdaten und Ergebnissen verwendet fast jeder Hersteller seine eigenen Datenformate. Um nun Produkte unterschiedlicher Hersteller gemeinsam nutzen zu können, sind präzise definierte und vor allem allgemein akzeptierte sowie veröffentlichte Datenformate notwendig.

Mit Hilfe dieser Formate können Daten von verschiedenen Herstellern gemeinsam verarbeitet werden und man ist nicht mehr auf die jeweiligen Auswerteprogramme der einzelnen Hersteller angewiesen.

Für die unterschiedlichen Anwendungen im Gebiet der satellitengestützten Navigationssysteme, haben sich drei Datenformate durchgesetzt. Dazu gehören das RINEX-, das RTCM- und das NMEA-Format, welche im Anschluss beschrieben werden.

### 3.10.1 RINEX

Das RINEX (*Receiver INdependent EXchange*) Format wurde 1989 am Astronomischen Institut der Universität Bern entwickelt und hat sich in den letzten Jahren zum internationalen Standard durchgesetzt.

Dieses Format dient der Speicherung und dem Austausch von Rohdaten bei der nachträglichen Datenverarbeitung (im Post-Processing).

Das auf ASCII-Zeichen (*American Standard Code for Information Interchange*) basierte RINEX-Format beinhaltet drei verschiedene Datentypen, in denen Beobachtungsgrößen vorliegen:

1. Beobachtungsdatei (*Observations data file*)
2. Navigationsdatei (*Broadcast navigation message file*)
3. Meteorologische Datei (*Meteorological data file*).

In der Beobachtungsdatei sind neben einem Dateikopf (*Header*) mit den allgemeinen Stationsinformationen die eigentlichen Beobachtungsgrößen, wie z.B. der Zeitpunkt der Messung, die Code-Pseudostrecken oder Trägerphasen, gespeichert. Angaben zu den Satellitenuhrfehlern sowie zu den Keplerelementen und Störparameter der Satellitenbahnen sind in der Navigationsdatei enthalten. [BAUER, 2003]

### 3.10.2 RTCM

Bei der Übertragung von DGPS-Korrekturdaten in Echtzeit stellt das RTCM-Protokoll den derzeitigen Standard dar.

Die „**Radio Technical Commission for Maritime Services**“, ist eine US-amerikanische Organisation, welche sich mit der Erarbeitung des Übertragungsstandards beschäftigt und 1985 die Version 1.0 des RTCM-Formats veröffentlichte. Nach diversen Erweiterungen und Änderungen ist derzeit die Version 3.1 aktuell.

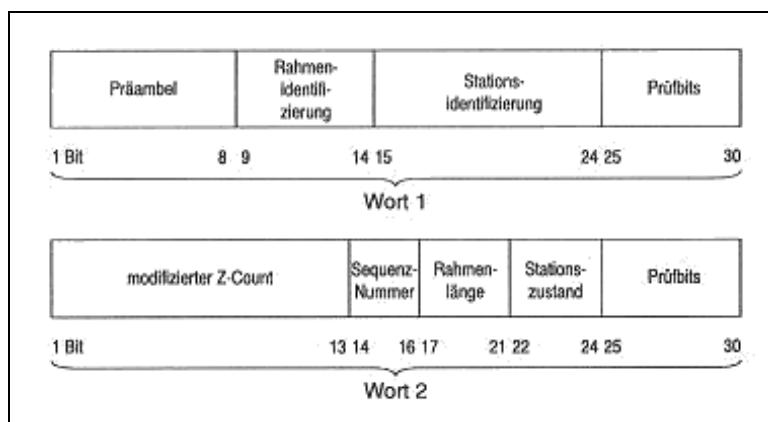


Abb. 3.10.2: Format der Kopfinformation [MANSFELD, 1998]

Die ersten beiden Worte (Abb. 3.10.2) einer Mitteilung bilden den Dateikopf, der unter anderem die Nummer des Mitteilungstyps (Rahmen-ID), die Stationsidentifikation, die Referenzzeit und die Rahmenlänge (Anzahl der folgenden Datenwörter) enthält. Dem Dateikopf folgt eine, je nach Nachrichtentyp aus bis zu 30 Bit langen Wörtern bestehende, Nachricht. [BAUER, 2003; MANSFELD, 1998]

### 3.10.3 NMEA

Neben dem RINEX- und dem RTCM-Format hat sich auch das NMEA-Format, das nach der „National Marine Electronics Association“ (Nationale Vereinigung für Marineelektronik) benannt wurde, für die Übertragung der Positionsinformationen durchgesetzt. Es wird zum Austausch von Informationen niederer Genauigkeit, z.B. in der Autonavigation und in der Schifffahrt eingesetzt.

Das aus ASCII-Zeichen bestehende Format wurde 1983 veröffentlicht. Der NMEA-Datensatz besteht aus maximal 82 Zeichen, beginnend mit einem \$, gefolgt von einer Kennung für den Instrumenten- und Datensatztyp und endet mit einer Prüfsumme.

Datensatztypen sind beispielsweise GGA (Uhrzeit und Koordinaten einer GPS-Position), GSA (PRN-Nummer der genutzten Satelliten und DOP-Werte), und RMC (Minimale Navigationsinformation: Zeit, Position, Geschwindigkeit). [BAUER, 2003]

Nachfolgend ist ein Beispiel in Form eines GGA-Datensatztyps mit anschließender Erläuterung der einzelnen Zeichen in der Tabelle 3.10.3 aufgeführt:

\$GPGGA,130712.47,5101.7349,N,01344.7571,E,1,06,1.3,171.2,M,39.5,M,,\*58<CR><LF>

\$	Beginn des Datensatzes
GP	Informationen stammen von einem GPS-Gerät
GGA	Kennzeichnung des Datensatztyp
130712.47	UTC-Zeit der Position: 13 h 07 min 12.47 sec
5101.7349	Breite: 51° 01,7349 min
N	nördliche Breite (N= Nord, S= Süd)
01344.7571	Länge: 13° 44,7571 min
E	östliche Länge (E= Ost, W= West)
1	GPS-Qualitätsangabe (0= kein GPS, 1= GPS, 2=DGPS)
06	Anzahl der verwendeten Satelliten
1.3	Horizontal Dilution of Precision (HDOP)
171.2	Höhenangabe der Antenne (Geoid-Höhe)
M	Einheit der Höhenangabe (M= Meter)
39,5	Höhdifferenz zwischen Ellipsoid und Geoid
M	Einheit der Höhdifferenz (M= Meter)
,	Alter der DGPS-Daten (hier wurde kein DGPS verwendet)
*	Begrenzungszeichen für die Prüfsumme
58	Prüfsumme zur Kontrolle des gesamten Datensatzes
<CR><LF>	Ende des Datensatzes

Tab. 3.10.3: Erläuterungen eines GGA-Datensatzes [thales08]

## 3.11 Referenzstationsnetze

Auf einer nutzerfremden Referenzstation, welche unentwegt mit einem GPS-Empfänger besetzt ist, werden kontinuierlich Beobachtungen zu den Satelliten durchgeführt. Aus den Ergebnissen der kontinuierlichen Beobachtungen werden präzise Satellitenephemeriden bestimmt. Die sich daraus Korrekturdaten werden einer Vielzahl von Nutzern zur Verfügung gestellt. Für die Übertragung dieser Daten wird ein internationaler Standard verwendet und z.B. per Mobilfunk übertragen.

### 3.11.1 Übertragungsmedium

Im deutschsprachigen Raum setzen die Betreiber von Referenzstationsnetzen auf unterschiedlichste Übertragungstechniken.

Auf Langwellen sendete Beispielsweise in der Vergangenheit der von der Deutschen Textfunk GmbH und dem BKG bereitgestellte Dienst ALF (*Accurate Positioning by Low Frequency*). Ein weiterer Betreiber ist die Firma GeoSurvey GmbH Leipzig, die den Dienst AMDS (*Amplituden Moduliertes Daten System*) über Langwellen bereitstellt.

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) bietet den DGPS-Dienst im maritimen Bereich (deutsche Nord- und Ostseeküste) an. Hier werden Sender und Frequenzen der konventionellen See-Funkfeuer im Bereich der Mittelwelle für die Übertragung benutzt.

In einer Kooperation von SAPOS® (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung) mit den öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der ARD erfolgt die Korrekturdatenübertragung auf Ultrakurzwellen (UKW). Hierzu werden die RTCM-Daten komprimiert, in das Format RASANT (*Radio Aided Satellite Navigation Technique*) umgewandelt und als Zusatzinformation im RDS-Standard ausgestrahlt.

Mit dem Ausbau der deutschen Mobilfunknetze gewann zunehmend die Bereitstellung von Korrekturdaten über GSM (*Global System for Mobile Communication*) an Bedeutung. Hierzu wird lediglich ein Mobiltelefon mit integriertem GSM-Modem benötigt. Nachteil gegenüber den zuvor genannten Übertragungstechniken sind die anfallenden Kommunikationskosten.

Aktuelle Entwicklungen bei den Übertragungstechniken basieren auf der Internet-Radio-Technologie. Hierbei sind die vergleichsweise hohe Bandbreite und die nahezu globale Verfügbarkeit von Vorteil.

Der „Allgemein paketorientierte Funkdienst“ GPRS (*General Packet Radio Service*) basiert auf dem GSM-Standard. Durch den Anschluss des GPRS-fähigen Mobiltelefons an einen Computer oder Handempfänger wird ein Internetzugang gewährt. Das Mobiltelefon fungiert als Modem.

Zur Korrekturdatenübertragung per Internet hat das BKG das auf dem http (*Hypertext Transfer Protocol*) basierende NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) entwickelt.

Die Abrechnung erfolgt nach der Menge der übertragenen Daten und nicht nach der Verbindungsduer. Die Daten werden beim Sender in kleine Pakete zerlegt, als solche übertragen und nach der Ankunft im Empfänger wieder in eine vollständige Datei zusammengesetzt.

Für die Nutzung von DGPS über größere Gebiete ist die satellitengestützte Übertragung der Korrekturdaten von Bedeutung. Beispiele für satellitengestützte DGPS-Dienste sind das WAAS (*Wide Area Augmentation System*) von den Nordamerikanern, das MSAS (*Multi-Transport-Satellite based Augmentation System*) von den Asiaten oder das EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*) von den Europäern. [BAUER, 2003; kowo08; wiki08; WANNINGER, 2004]

### 3.11.2 Referenzstationsnetz

Ein präzises Referenzsystem ist das Fundament für die Bestimmung der Satellitenephemeriden und somit der Korrekturdaten.

Das Referenzsystem ITRS (*International Terrestrial Reference System*) wird vom IERS (*International Earth Rotation Service*) durch ein weltweites Netz von über hundert Stationen realisiert. Mit verschiedenen Beobachtungstechniken, wie Satelliten-Laserentfernungsmessungen und Langbasis-Interferometrie, werden Erkenntnisse über Erdrotationsparameter, Polbewegungen und plattentektonische Veränderungen gewonnen. Durch die plattentektonischen Bewegungen bietet sich das globale Referenzsystem ITRS nicht für regionale Anwendungen an.

Somit wurde ein europäisches Referenzsystem das ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*), mit den auf der eurasischen Platte liegenden Stationspunkten des ITRS, definiert. Durch die Stationen des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS<sup>®</sup>) wird das ETRS89 in Deutschland realisiert. Zur Verdichtung des Referenznetzes dienen die satellitengeodätisch bestimmten Netze EUREF (Europäisches Referenznetz), GREF (Geodätisches Referenznetz in Deutschland) und die GREF Landesnetze. [LANDESVERM, 2006]

### 3.11.3 GPS- Referenzstationsdienste

Um die nötigen Genauigkeiten zu erzielen, reichen allein die Satelliten nicht aus. Erst die Korrektursignale der Referenzstationen, die in einem dichten Netz Deutschland überspannen, gewährleisten in Verbindung mit den Satellitendaten die Genauigkeit im Zentimeterbereich. Diese Referenzstationsdienste wie z.B. SAPOS<sup>®</sup>, „ascos“ und weitere Anbieter werden im Folgenden kurz erläutert.

#### 3.11.3.1 SAPOS<sup>®</sup>

SAPOS<sup>®</sup> ist ein von der „**Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland**“ (AdV) eingerichteter Satellitenpositionierungsdienst, welcher

mehrere Dienste mit verschiedenen Genauigkeiten und Übertragungsmedien anbietet. Die über 260 SAPOS®-Referenzstationen, welche in ganz Deutschland flächendeckend verteilt sind, beziehen sich auf das europäische Referenznetz ETRS89. Der flächendeckende Aufbau von 16 eingerichteten und vernetzten Referenzstationen im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 3.11.3.1-1) wurde im Jahre 2003 abgeschlossen.

Mit der Nutzung der Messmethode DGPS und der kostenpflichtig angebotenen SAPOS®-Dienste ergeben sich für den Anwender zwei Vorteile. Zum einen der Verzicht auf einen eigenen zweiten GPS-Empfängers, der für DGPS-Messungen notwendig ist und zum anderen dass die Koordinaten der SAPOS®-Referenzstationen hochpräzise bestimmt worden sind und ständig überwacht werden.



Abb. 3.11.3.1-1: SAPOS®-Referenzstationen in Mecklenburg Vorpommern [sapos08]

Mit den SAPOS®-Daten werden sowohl die Echtzeit als auch Post-Processing Anwendungen unterstützt. Dazu wurden vier Service-Bereiche (Abb. 3.11.3.1-2) mit unterschiedlichen Eigenschaften und Genauigkeiten eingerichtet.

### **SAPOS®-EPS Echtzeit-Positionierungs-Service**

Der SAPOS®-EPS bietet Echtzeit-Positionierung mit 0,5 – 3 Metern Genauigkeit. Dazu messen Referenzstationen permanent die Entfernung zu den GPS-Satelliten. Die daraus ermittelten Code-Korrekturdaten werden in Zusammenarbeit mit den Rundfunkanstalten der ARD über UKW (Verfahren RASANT vgl. Kapitel 3.11.1) im standardisierten Format RTCM an den Nutzer übertragen.

Ferner können die Korrekturdaten im 2m-Band-Funk oder per Mobilfunk (GSM) empfangen werden.

### **SAPOS®-HEPS Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service**

Mit dem SAPOS®-HEPS können Positionierungen mit einer Genauigkeit von 1 – 2 Zentimetern in Echtzeit durchgeführt werden. Neben den EPS-Korrekturdaten werden auch

---

die Korrekturdaten für die Trägerphasenmessungen an den Nutzer über Mobilfunk oder über eigene Sender der Landesvermessung im 2m-Band übertragen.

Eine Minimierung der entfernungs- sowie ortsabhängigen Fehlereinflüsse wie z.B. der troposphären- und ionosphärische Fehler und somit eine Steigerung der Genauigkeit der Positionierung wird durch die Vernetzung der Referenzstationen erreicht. Die Netze von den GPS-Referenzstationen weisen Punktabstände von etwa 30 bis 50 km auf. Um nun eine cm-genaue Position zu erhalten, sollte der Abstand zwischen Referenzstation und Nutzer einen Wert von 10 – 15 km nicht überschreiten. Die Vernetzungsergebnisse werden in Form von Flächenkorrekturparametern (FKP) oder als Virtuelle Referenzstation (VRS) zur Verfügung gestellt.

Für den Nutzer wird beim VRS-Prinzip eine Referenzstation simuliert, deren genäherte Position aus einer ersten unabhängigen Messung (absolute Positionierung Kapitel 3.7.1) bei der Einwahl an die Zentrale gesendet wird. Schließlich werden Echtzeitdaten, die einer in unmittelbarer Umgebung gelegen Station entsprechen, erzeugt und an den Nutzer entrichtet. Somit erfüllt diese real nicht vorhandene Station die Aufgaben einer projektnahen Station.

Bei den FKP hingegen werden die Echtzeitdaten von einer nächstgelegenen real existierenden Station übermittelt.

Die Echtzeitdaten werden um die Parameter ergänzt, die das flächenhafte Verhalten der entfernungsabhängigen Fehler beschreiben. Im Empfänger des Nutzers werden diese bezüglich der aktuellen Position angegeben.

Im Gegensatz zur VRS muss zur Übertragung der FKP keine Zweiwegeverbindung zwischen Nutzer und Zentrale existieren.

Zur Nutzung von SAPOS®-HEPS wird ein hochwertiger GPS-Empfänger (Zweifrequenz-Empfänger) gebraucht.

### **SAPOS®-GPPS Geodätischer Präziser Positionierungs-Service**

Mit SAPOS®-GPPS lassen sich nur über eine Datenverarbeitung im Post-Processing Positionierungsgenauigkeiten von 1 Zentimeter realisieren. Die SAPOS®-Daten der kontinuierlichen Laufzeitmessungen der Referenzstationen sind im RINEX-Format erhältlich und werden per E-Mail, Internet (Webserver) oder auf einem Datenträger (CD-Rom, Diskette) bereitgestellt.

### **SAPOS®-GHPSS Geodätischer Hochpräziser Positionierungs-Service**

Beim SAPOS®-GHPSS ist eine Positionsgenauigkeit im Millimeterbereich möglich, wobei auch hier die Datenauswertung im Post-Processing erfolgt. Die hohe Genauigkeit lässt sich durch lange Messzeiten und durch die Verwendung von präzisen Ephemeriden erzielen. Auch hier sind die Daten im standardisierten RINEX-Format per E-Mail, Internet oder auf Datenträgern verfügbar. [sapos08]

	HEPS	EPS	GPPS
Verfahren	Echtzeit	Echtzeit	Postprocessing
Genauigkeit - Lage -	0,01 - 0,02 m	0,5 - 3 m	≤ 0,01 m
Genauigkeit - Höhe -	0,02 - 0,03 m	1 - 5 m	0,01 - 0,02 m
Übertragungstechnik	Mobilfunk (GSM), Internet (GPRS, UMTS)	UKW (RASANT)	Internet (Webserver)
Taktrate	1 Sekunde	3 - 5 Sekunden	≥ 1 Sekunde
Einheit	1 Minute	entfällt	1 Minute
SAPOS® - Gebühr je Einheit	0,10 €	einmalig bei Gerätekauf	0,20 €
Datenformat	RTCM 2.3, RTCM 3	RTCM 2.0	RINEX 2.1

Abb. 3.11.3.1-2: SAPOS® - ein Überblick [sapos08]

### 3.11.3.2 ascos

Ein weiterer Referenzstationsdienst in Deutschland ist „ascos“.

Der Satellitenpositionierungsdienst „ascos“ wurde 1999 von dem Erdgasversorgungsunternehmen E.ON Ruhrgas AG für die Vermessung, Wartung und den Betrieb der eigenen Gasleitungen ins Leben gerufen. Seit Anfang März 2008 wird der Referenzdienst „ascos“ von der AXIO-NET GmbH in Hannover betrieben. Dahinter stehen zwei erfolgreiche Unternehmen: die Astrium Services GmbH und die ALLSAT GmbH.

„ascos“ verfügt über 30 eigene Referenzstationen und ist in die 260 SAPOS® - Referenzstationen sowie die 16 Stationen des BKG eingebunden.

Im Gegensatz zu SAPOS® werden bei „ascos“ Korrekturdaten für GPS und GLONASS zur Verfügbarkeit gestellt, welches eine höhere Verfügbarkeit an schwierigen Standorten ermöglicht.

Die Korrekturdaten werden in mehreren Diensten (Abb. 3.11.3.2-1) mit unterschiedlichen Genauigkeitsklassen angeboten, welche nachfolgend erläutert werden.

ascos-Dienste im Überblick		
		Messgenauigkeit
PED	Zweifrequenzreceiver	±2 cm
ED	Einfrequenzreceiver	±30 bis ±50 cm
NET	Broadcast-Service via Internet	±1 m
net4free	kostenloser Broadcast-Service	>1 m
ViPP	virtuelles RINEX via Internet	<1 cm
Trans	Echtzeittransformation	

Abb. 3.11.3.2-1: ascos-Dienste ein Überblick [ascos08]

Der **ascos PED**-Dienst ist ein präziser Echtzeitdienst für Zweifrequenz-Empfänger mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 2$  cm.

Der Echtzeitdienst **ascos ED** ist hauptsächlich für Einfrequenz-Empfänger gedacht. Mit einer Phasenglättung ist eine Messgenauigkeit von  $\pm 30$  bis  $\pm 50$  cm zu erreichen. Diese Steigerung der Genauigkeit, im Vergleich zum SAPOS®-EPS Dienst, wird durch eine Vernetzung der Referenzstationen verwirklicht. Der Datenabruf erfolgt hierbei entweder via GSM oder über GPRS. Der Empfänger muss über die Möglichkeit verfügen empfangene Korrekturdaten im RTCM-Format zu verarbeiten. Des Weiteren muss er geeignet sein, eine eigene ungefähre Position, z.B. aus einer autonomen GPS-Lösung, im NMEA-Format auszusenden.

**ascos NET** bietet Echtzeitkorrekturdaten im Bereich von  $\pm 1$  m an und **ascos net4free** gibt es kostenlos für Positionierungen in Echtzeit mit einer Messgenauigkeit oberhalb eines Meters. Bei den beiden letztgenannten Diensten werden die Korrekturdaten nach dem RTCM-Standard NTRIP dem Endgerät bereitgestellt. Das komplette Genauigkeitspotential der heutigen Einfrequenz-Empfänger wird jedoch nur durch den Echtzeitdienst ascos-ED ausgeschöpft.

**ascos ViPP** für virtuelles Post-Processing mit einer Messgenauigkeit von kleiner als 1 cm ist dies eine Alternative zur Echtzeitpositionierung. [ascos08]

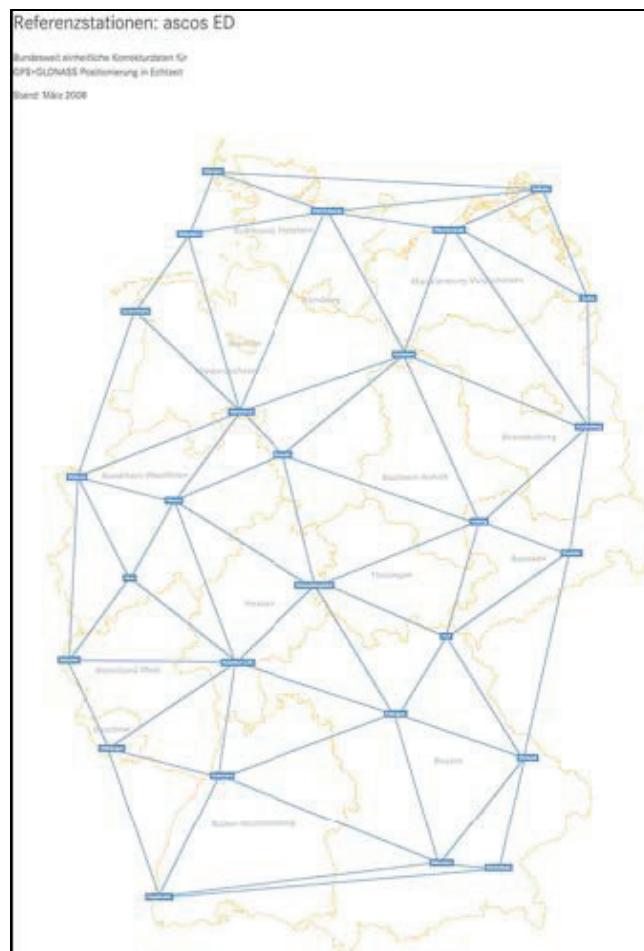


Abb. 3.11.3.2-2: Übersicht des Referenznetzes ascos ED [ascos08]

### 3.11.3.3 Beacon (IALA-DGPS)

IALA-DGPS sendet Korrekturdaten nach einem internationalen Standard im Funkfeuerband (Mittelwellenband) aus, den die IALA (*International Association of Lighthouse Authorities*) erarbeitet hat. Im englischsprachigen Raum wird das System auch „Beacon DGPS“ genannt, welches ursprünglich für die Küstenschifffahrt entwickelt und für die Binnenschifffahrt ausgebaut wurde.

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes betreibt zurzeit ein Netzwerk aus sieben DGPS-Referenzstationen (Abb. 3.11.3.3). Somit ist nahezu bundesweit eine Abdeckung gegeben.

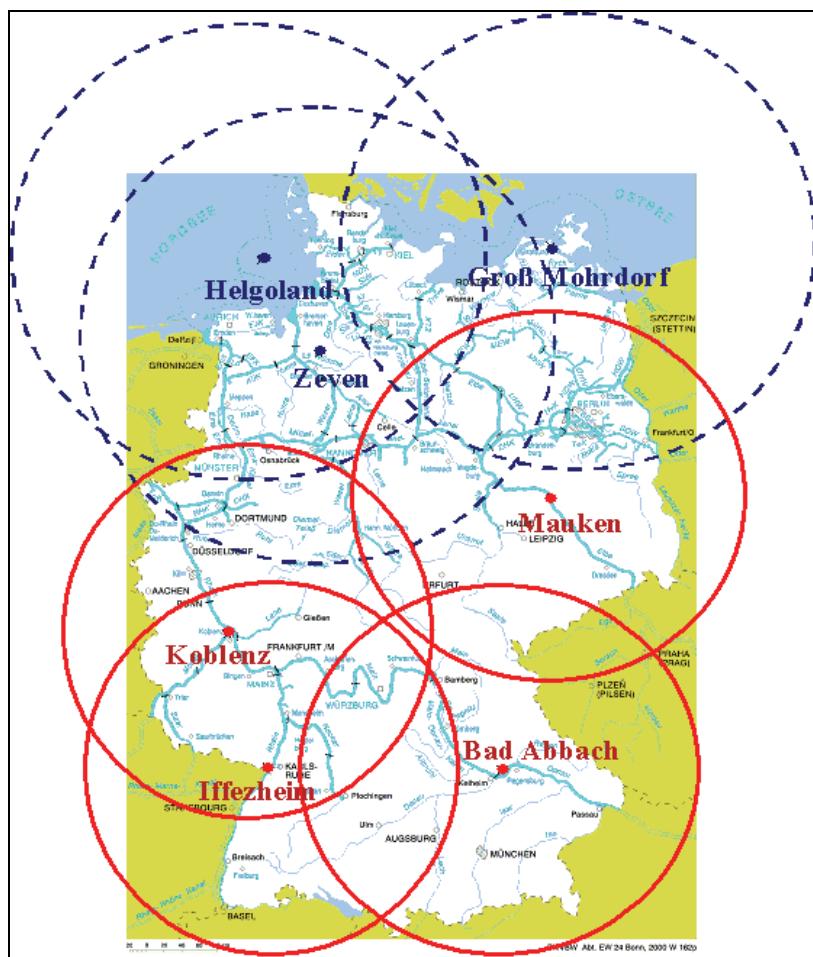


Abb. 3.11.3.3: Stationen der Wasser und Schifffahrtsverwaltung [wsv08]

Die Referenzstationen sind auch hier, auf einer geodätisch genau vermessenen Position errichtet. Ermittelte Differenzen aus einem Soll-/Ist-Vergleich der Satellitenentfernung werden als Korrekturdaten über Funk an den Nutzer zur Verbesserung der Positionsgenauigkeit übertragen.

Durch die Verwendung eines entsprechenden GPS-Empfängers mit einem Beacon-Empfänger können Echtzeitkorrekturdaten für eine Genauigkeit von 1 bis 3 m empfangen werden. [trimble08; wsv08]

### 3.11.3.4 EGNOS

Beim EGNOS-System (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) handelt es sich um ein satellitengestütztes DGPS, welches keine zusätzlichen Langwellenempfänger (zum Empfang des Signals) und keine zusätzlichen Sendestationen (zur Signalübertragung) benötigt. Der Hintergrund für die Entwicklung des Systems, ist die Flugsicherung beim Landeanflug mit eingeschränkter Sicht.

An zahlreichen Orten in Europa wurden 34 GPS-Empfangsstationen oder so genannte RIMS (*Ranging and Integrity Monitor Stations*) mit einer exakt bekannten Position aufgebaut. Diese empfangen nun sowohl das GPS-Signal als auch die Signale von GLONASS und später von GALILEO und leiten ihre Daten an ein Central Processing Centre (Hauptrechenstation) weiter. Dort werden die gesammelten Messdaten aller Stationen verrechnet und die Langzeitfehler der Satellitenpositionen, die Satellitenuhrenfehler und ein Korrekturgitter errechnet. Letzteres ist eine Art Karte mit der Gesamtelektronenmenge (TEC = *Total Electron Content*) für die Signalverzögerungen in der Ionosphäre.

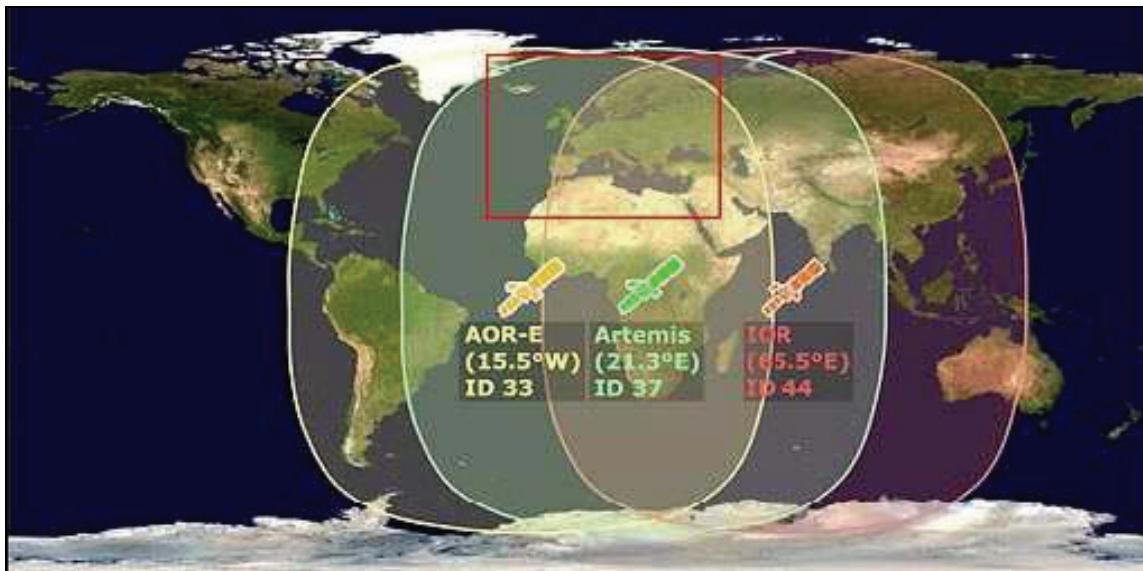


Abb. 3.11.3.4: Position und Abdeckungsbereich der EGNOS-Satelliten [kowo08]

Diese Informationen werden nun an drei bestimmte Satelliten gesendet. Diese geostationären Satelliten (Abb. 3.11.3.4) werden durch die empfangenen Korrekturdaten im GPS-Empfänger zum einen zur Positionsbestimmung und zum anderen zur Verbesserung der Positionsgenauigkeit verwendet. EGNOS wird kostenfrei angeboten und soll eine Genauigkeit von 1 bis 3 m ermöglichen. [kowo08; sapos08]

## 4. Modernisierung

Die im Anschluss aufgezählten Erneuerungen haben das Ziel, die Präzision, die Integrität und die Verfügbarkeit zu verbessern, um die Leistungsfähigkeit der Satellitennavigationssysteme für die militärische aber auch für die zivile Nutzung zu erhöhen. Ein weiterer Grund der Modernisierung der Satellitennavigationssysteme ist die direkte Konkurrenz, ob nun zum US-amerikanischen GPS, dem russischen GLONASS oder dem europäischen Galileo-System.

Ein weiteres Satellitennavigationssystem ist das chinesische Compass-System. Bereits in diesem Jahr soll die Abdeckung des eigenen Landes sowie der umgrenzenden Regionen erfolgen. Ob es jedoch zu einem vollständigen globalen Ausbau des Systems kommt ist noch unklar. Da zurzeit nur China abgedeckt ist und nur wenige Informationen darüber bekannt sind, wird das Compass-System hier nicht weiter erläutert. [wiki08]

### 4.1 GPS

Schon wenige Jahre nach Betriebsbereitschaft von GPS, wurde im Jahre 2000 eine Modernisierung des Systems durch die Deaktivierung der künstlichen Verschlechterung (SA) ausgeführt.

Des Weiteren wurde ab 2005 für den zivilen Nutzer auf der L<sub>2</sub>-Frequenz zusätzlich zum P/Y-Code auch der C/A-Code aufmoduliert. Voraussichtlich wird es aber noch bis 2009 dauern, bis genügend L2C-fähige Satelliten im Umlauf sind, um den Code auch nutzen zu können. Das L2C-Signal ist für die zivile Anwendung von besonderer Bedeutung, denn durch die Übertragung auf zwei Frequenzen können ionosphärische Effekte herausgerechnet werden. Dies führt zu einer Erhöhung der Laufzeit und somit zu einer Steigerung der Genauigkeit. Jedoch ist das L2C-Signal gelegentlich gestört, da es in der Nähe existierender Radarfrequenzen liegt. Damit ist es für zivile sicherheitsrelevante Anwendungen, beispielsweise in der Luftfahrt, nicht geeignet. Daher wird ein weiterer geschützter Frequenzbereich für GPS-Anwendungen zugeteilt werden.

Die neuen Block IIF Satelliten werden in den kommenden Jahren über die Fähigkeit verfügen, das L5-Signal (1176,45 MHz) für die zivile Nutzung auszusenden. Dadurch ist es dem zivilen Nutzer möglich, die Phasenmehrdeutigkeit schneller als bisher zu lösen. Aber auch eine Steigerung in der erreichbaren Genauigkeit der Positionsbestimmung ist zu erwarten.

Der Start von Block III Satelliten ist ab 2012 vorgesehen. Neben stärkeren Sendeleistungen und genaueren Uhren, werden diese einen zweiten, stärkeren Code auf der L<sub>1</sub>-Frequenz abstrahlen. Die volle Nutzbarkeit und somit der Abschluss der Modernisierung soll bis 2018 erfolgen.

Neben der Verbesserung des Raums wird auch das Kontrollsegment (siehe Kapitel 3.2) erneuert. Dazu wurden 2007 alle Bodenkontrollstationen mit neuer Soft- und Hardware ausgestattet. Weiterhin sollen noch fünf zusätzliche NGA Stationen hinzugefügt werden. Die Aufrüstung der Stationen ermöglicht es, jeden Satelliten rund um die Uhr von mindestens drei Monitorstationen zu empfangen. Für den Nutzer ergibt sich daraus eine verbesserte

Positionsgenauigkeit, da die Umlaufbahnen stärker überwacht werden, was zu einer genaueren Beschreibung der Bahnen führt. [kowo08; sapos08; BAUER, 2003]

## 4.2 GLONASS

GLONASS (*Global'naya NAVigatsioannaya Sputnikovaya Sistema*) ist ein seit 1972, zeitgleich mit dem GPS-System, in Russland entwickeltes globales Satellitennavigationssystem.

Fünf Jahre nach dem ersten Start des GPS-Satelliten konnte im Oktober 1982 der erste GLONASS-Satellit gestartet werden. Das System wurde 1993 vorerst mit 12 Satelliten offiziell in Betrieb genommen und bis 1996 vollständig mit 24 Satelliten ausgebaut. Aufgrund von zahlreichen Ausfällen und der kurzen Lebensdauer eines Satelliten von nur drei bis vier Jahren reduzierte sich das Raumsegment im Jahre 2001 auf sieben aktive Satelliten. Wegen finanziellen Problemen wurden Wartung und Weiterentwicklung des russischen GLONASS stark eingeschränkt, so dass sich momentan nur 16 Satelliten im Orbit befinden (Stand: Juli 2008; <http://www.glonass-ianc.rsa.ru>) und somit die Verfügbarkeit und die Leistungsfähigkeit des amerikanischen GPS-System nicht erreicht wird. Jedoch soll das System laut Beschluss der russischen Regierung ab 2010 mit 24 Satelliten voll einsatzbereit sein. Dazu setzte Präsident Putin den „GLONASS-Neustart“ an vorderste Stelle und von der Regierung werden wieder Milliarden für die Förderung des Projekts freigegeben.

Prinzipiell ist das GLONASS-System dem GPS-System sehr ähnlich, allerdings gibt es im Weltraumsegment und der Signalstruktur sehr deutliche Unterschiede. Die 16 aktiven Satelliten bewegen sich in einer Höhe von etwa 19.100 km auf 3 Bahnnebenen, die um 64,8 Grad gegenüber der Äquatorebene geneigt sind. Durch die Bahnneigung sind die GLONASS-Satelliten in den Polregionen besser sichtbar als die des GPS-Systems. Im Vergleich zu den GPS-Satelliten haben sie, bedingt durch die geringere Höhe, mit 11 Stunden 15 Minuten 44 Sekunden eine kürzere Umlaufzeit.

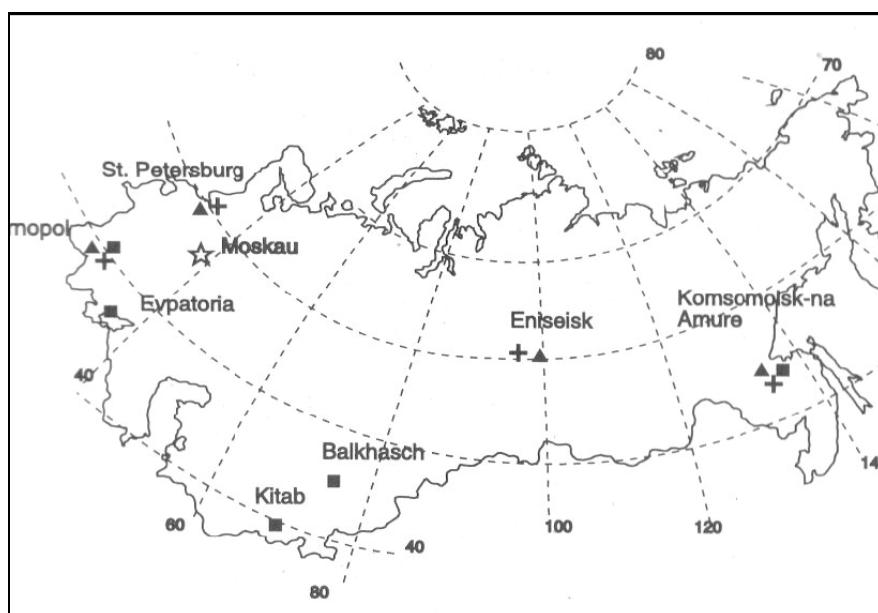


Abb. 4.2: Stationen des GLONASS Überwachungs- und Kontrollsysteems [BAUER, 2003]

Das GLONASS Kontroll- und Überwachungssystem (Abb. 4.2) hat im Allgemeinen dieselben Aufgaben wie das des amerikanischen Ortungssystems. Zur Erfüllung der Aufgaben steht ein *System Control Center* in Moskau und weitere neun *Command Tracking Stations* in Russland, Kasachstan, Usbekistan und der Ukraine zur Verfügung. Somit liegen die Stationen alle in Russland oder teilweise auf dem Gebiet der ehemaligen GUS-Staaten. Das hat den entscheidenden Nachteil, dass die Satellitenbahnen nicht global erfasst und überwacht werden können und so für den Nutzer außerhalb des Territoriums keine aktuellen Informationen über den Zustand der Satelliten vorliegen. Da genaue Angaben über das Zusammenwirken der einzelnen Elemente nie veröffentlicht wurden, kann an dieser Stelle darüber nur spekuliert werden.

Die Signalstrukturen von GLONASS entsprechen weitestgehend denen des GPS-Systems. Einzig die Wellenlängen beim C/A- und P-Code sind unterschiedlich und entsprechen etwa der doppelten Länge wie beim GPS. Bei dem weniger genaueren Code entsprechen diese 586,7 m und bei dem präziseren Code ist die Länge 58,7 m.

Im Gegensatz zum GPS sendet jeder Satellit das gleiche Codesegment auf seiner eigenen Frequenz. Die Unterscheidung der einzelnen Satelliten wird anhand der unterschiedlichen Frequenzen vorgenommen. Diese Methode wird als FDMA (***Frequency Division Multiple Access***) bezeichnet. FDMA unterscheidet sich grundlegend vom CDMA- (***Code Division Multiple Access***) Verfahren der GPS-Signalstruktur, bei dem jeder GPS-Satellit eigene Codesegmente auf den Trägerfrequenzen  $L_1$  und  $L_2$  ausstrahlt.

Die von den GLONASS-Satelliten erzeugten Frequenzen werden durch folgende Formeln dargestellt:

$$L_1: f_{k1} = 1602 \text{ MHz} + k * 0,5625 \text{ MHz},$$

$$L_2: f_{k2} = 1246 \text{ MHz} + k * 0,4375 \text{ MHz}.$$

Die Variable  $k$ , aus der Navigationsmitteilung, steht für den jeweiligen Satelliten bzw. dafür welcher Satellit welche Frequenz aussendet.

Die verbesserten GLONASS-M-Satelliten mit einer Lebensdauer von 7 Jahren und einem zweiten zivilen Signal auf  $L_2$  werden seit 2003 eingesetzt. Mit einer geringeren Startmasse, einer 10jährigen Lebensdauer und einer dritten Frequenz werden die neuen GLONASS-K-Satelliten zurzeit entwickelt und ab 2009 gestartet.

Da GLONASS und GPS sehr ähnliche Technologien aufweisen, besteht die Möglichkeit kombinierte GLONASS/GPS-Empfänger auf dem Produktmarkt zu erhalten. Entsprechende Navigationsgeräte könnten Daten sowohl von den GLONASS- als auch GPS-Satelliten empfangen. Durch die Kombination beider Systeme lässt sich eine erhöhte Zuverlässigkeit erzielen, da sich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Satelliten erhöht und auch mit einer besseren Satellitengeometrie zu rechnen ist. Auch bei dem Ausfall eines Systems oder als Schutz gegen Manipulation hat die Vereinigung wesentliche Vorteile gegenüber der alleinigen Nutzung eines Systems. [BAUER,2003; TUM, 2007; read08]

## 4.3 Galileo

Galileo ist der Name des zukünftigen europäischen Satellitennavigationssystems, welches weltweit eine genaue Positionsbestimmung ermöglichen soll. Die Inbetriebnahme des Systems soll frühestens 2013 erfolgen.

Das Galileo-System ähnelt dem russischen GLONASS-System, sowie dem GPS-System, das von der US-Armee betrieben wird. Galileo ist ein Gemeinschaftsprojekt der Europäischen Union (EU) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und unterliegt somit keiner nationalen militärischen Kontrolle, wie bei den beiden anderen Systemen.

Nach dem vollständigen Aufbau soll das Weltraumsegment aus 30 Satelliten (27 + 3 Ersatz) bestehen, die auf 3 Bahnebenen in einer Höhe von etwa 23.260 km verteilt sind. Mindestens 9 Satelliten bewegen sich dann jeweils auf einer der 3 Bahnebenen, die um 56 Grad gegenüber der Äquatorebene geneigt sein wird. Die Umlaufzeit eines Galileo-Satelliten beträgt ca. 14 Stunden und 22 Minuten.

Gegenüber dem GPS-System, wird die Kontrolle der Satelliten durch ein Netz auf einem wesentlich besser ausgebauten und weltweit verteilten Bodensegment (Abb. 4.3-1) gesichert. Das Bodensegment baut sich einmal aus dem Kontrollsysteem (**Ground Control System**, GCS) für den Betrieb sowie die Bahn- und Zeitbestimmung auf. Zum anderen besteht es aus dem System zur Überwachung der Integrität (**Integrity Determination System**, IDS). Dies ist eine besondere Funktion von Galileo, die es in den Systemen GPS und GLONASS nicht gibt. Die Stationen beider Bodensegment-Systeme sind zwar in ihrer Funktion unabhängig, befinden sich jedoch meist am gleichen Ort und nutzen eine gemeinsame Infrastruktur. Von der Größenordnung her gesehen setzt sich das Bodensegment aus einem Netzwerk von 18 bis 20 Monitorstationen zur Erfassung der Galileo-Signale aller Satelliten, 9 **Uplink-Station** (ULS) und 5 TTC-Sendestationen (**Telemetry, Tracking and Command**) zur Übertragung der berechneten Navigationsinformationen an die Satelliten und zwei Kontrollzentren zusammen.

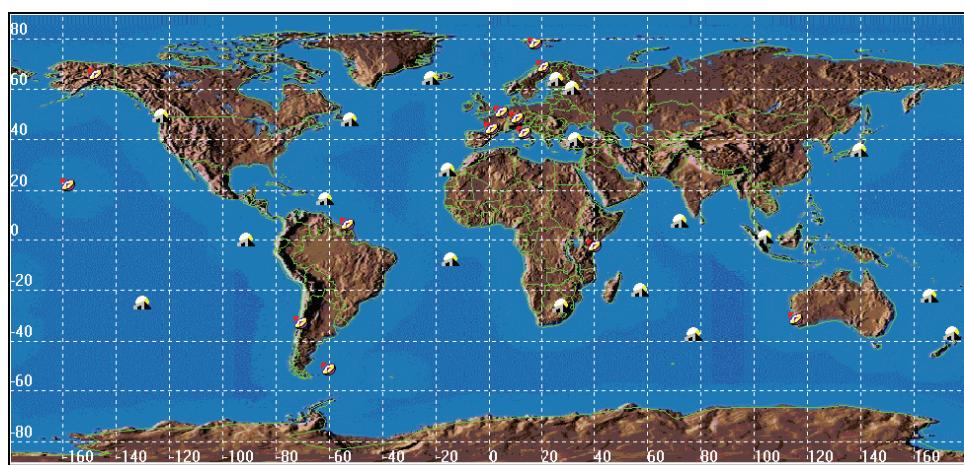


Abb. 4.3-1: Galileo Bodensegment [gali08]

Der Aufbau des Systems wird in vier Phasen erfolgen, wobei die erste Phase, die Definitionsphase bereits 2003 abgeschlossen wurde.

Zurzeit befindet sich das Galileo-System in der Entwicklungs- und Validierungsphase. In dieser Phase werden zwei Testsatelliten gestartet, um Erkenntnisse für das endgültige System zu erzielen.

Bereits im Dezember 2005 hat der erste Testsatellit GIOVE-A (**Galileo In-Orbit Validation Element**) (Abb. 4.3-2) seinen planmäßigen Betrieb aufgenommen. Der zweite Satellit GIOVE-B konnte im April 2008 erfolgreich in seine Umlaufbahn gebracht werden. Im nächsten Schritt werden vier Galileo-Satelliten, welche dem späteren Serientyp entsprechen, in den Weltraum transportiert. Dadurch wird das Weltraumsegment mit dem dazugehörigen Bodensegment des Systems kontrolliert.



Abb. 4.3-2: GIOVE-A erste Testsatellit [esa08]

In der Errichtungsphase erfolgt der zügige Ausbau des Gesamtsystems durch die Verfügbarkeit aller 30 Satelliten. Abgesehen von dem Weltraumsegment soll auch das Bodensegment vollständig ausgebaut werden.

In der letzten Phase, der Betriebsphase, werden die Verwaltung und Instandhaltung des Systems, möglicherweise von einem privaten Betreiber, der das System in Lizenz betreibt, übernommen.

Wie schon beim GPS-System, wird auch das Galileo-System nicht völlig frei nutzbar sein. Zur Positionsbestimmung werden unterschiedliche Dienste gegen ein Entgelt angeboten. Geplant sind folgende Dienste:

Der offene Dienst (**Open Service**, OS) bietet dem Nutzer ein so genanntes offenes Signal an. Es wird Navigationsdaten, sowie Geschwindigkeits- und Zeitangaben enthalten. Dieser Dienst wird gebührenfrei sein und die bisherigen Angebote (GPS, GLONASS) in dem Aspekt Genauigkeit übertreffen.

Beim gebührenpflichtigen kommerziellen Dienst (**Commercial Service**, CS) verbessert sich die Genauigkeit durch den Zugang auf zusätzliche Signale und Navigationsdaten. Dieser Dienst, welcher einer Zugangskontrolle unterliegen wird, steht für den Anwenderbereich Vermessungswesen und Flottenmanagement mit einer begrenzten Übertragungskapazität zur Verfügung.

Der verschlüsselte sicherheitskritische Dienst (**Safety of Life Service**, SoL) steht für Nutzergruppen aus dem Bereich des Verkehrswesens (Luft- und Schifffahrt), bei denen die garantierte Genauigkeit ein wesentliches Merkmal spielt, frei zur Verfügung.

Der öffentliche regulierte Dienst (**Public Regulated Service, PRS**) wird von staatlichen Stellen, wie beispielsweise der Polizei und dem Zoll, genutzt. Er dient hoheitlichen Aufgaben der EU-Staaten und ist somit zugriffsgeschützt, verschlüsselt und störresident.

Neben den vier genannten Navigationsdiensten wird es ein Such- und Rettungsdienst (**Search and Rescue, SAR**) geben. Hierbei werden Notrufe von beliebigen Standorten auf der ganzen Erde in Echtzeit empfangen und eine auf wenige Meter exakte Positionsbestimmung der Notrufmeldung erlangt. Durch eine 2-Wege-Kommunikation wird dem System eine Rückmeldung an den Geschädigten ermöglicht.

Gemeinsam mit GPS wird Galileo das Frequenzband L1 bei 1575,42 MHz und L5 bei 1176,45 MHz nutzen. Bei Galileo tragen die entsprechenden Signale die Bezeichnung E2-L1-E1 bzw. E5a+E5b. Ähnlich wie bei GPS wird es ein drittes Signal das E6 bei 1278,75 MHz geben, dieses steht Galileo allein zur Verfügung. Galileo wird 10 verschiedene Signale auf vier Frequenzbändern nutzen, welche sich wie folgt zusammenstellen:

- 4 Signale im Frequenzband E5a und E5b
- 3 Signale im Frequenzband E6 und
- 3 Signale im Frequenzband E2-L1-E1.

Galileo wird, auch wenn dies anfangs noch nicht geplant war, mit dem amerikanischen GPS bzw. durch die ab 2012 geplante Modernisierung GPS Block III Satelliten und dem russischen globalen GLONASS kompatibel sein. Durch die Kombination soll auch hier wiederum eine deutlich höhere Verfügbarkeit, von jederzeit bis zu 15 Satelliten, erreicht werden. Jedoch sind die heutigen einfachen GPS-Empfänger noch nicht für den Empfang der zukünftigen Galileo-Signale geeignet. [esa08; gali08; galvie08]

Aus der nachfolgenden Abbildung 4.3-3 gehen die von den drei Systemen GPS, GLONASS und Galileo benutzten bzw. vorgesehenen Frequenzbänder hervor. Die verwendeten Frequenzbänder von GPS sind mit dem Buchstaben L, die von GLONASS mit G und die vorgesehenen Frequenzen von Galileo mit dem Buchstaben E versehen.

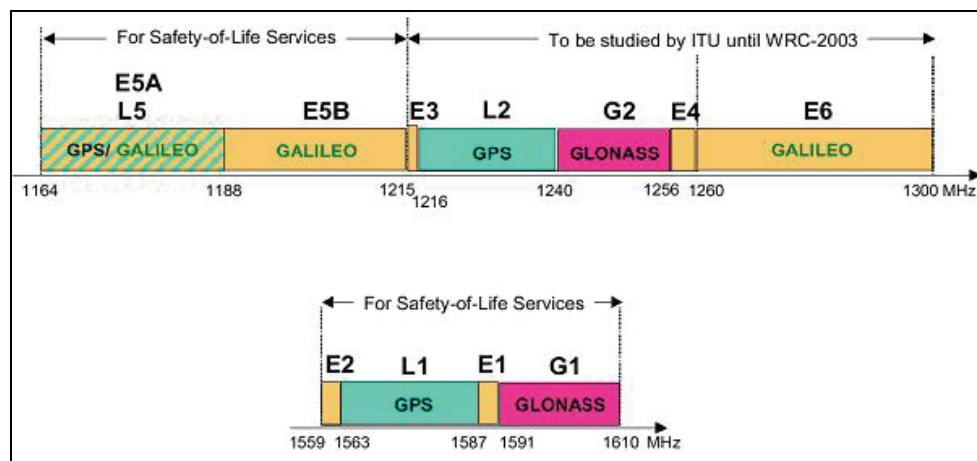


Abb. 4.3-3: Frequenzbänder von GPS, GLONASS und Galileo [gnss08]

In der Tabelle 4 sind zusammenfassend die wichtigsten Parameter der drei Satellitensysteme GPS, GLONASS und Galileo gegenübergestellt.

Parameter	GPS	GLONASS	Galileo
<b>Beginn der Entwicklung</b>	1973	1972	2001
<b>1. Satellitenstart</b>	1978	1982	2005
<b>Anzahl Satelliten aktuell / geplant</b>	31	16 / 24 + 3 passive Ersatz-Satelliten	2 / 27 + 3 aktive Ersatz-Satelliten
<b>Bahnebenen</b>	6	3	3
<b>Inklination</b>	55°	64,8°	56°
<b>Bahnhöhe</b>	20 180 km	19 100 km	23 616 km
<b>Umlaufzeit</b>	11 h 58 min	11 h 15,8 min	14 h 22 min
<b>Geodätisches Datum</b>	World Geodetic System 1984 (WGS 84)	Parametry Zemli 1990 (PZ-90)	Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)
<b>Zeitsystem</b>	GPS-Time	GLONASS-Time	GST (Galileo System Time)
<b>Signalcharakteristik</b>	CDMA	FDMA	CDMA
<b>Frequenzen aktuell / geplant</b>	2 / 3	26 / 24	2 / 3
<b>Verantwortung</b>	Verteidigungs-Ministerium	Verteidigungs-Ministerium	Zivile Regierungen der EU

Tab. 4: Übersicht der drei Satellitensysteme GPS, GLONASS und Galileo [zogg08]

Abschließend sei gesagt, dass die führenden Hersteller in Aktion getreten sind, um eine neue Generation von GPS-Empfängern anzubieten bzw. eine Software zu entwickeln, um herkömmliche GPS-Empfänger aufzurüsten. Voraussichtlich werden bis 2013 alle 3 Systeme GPS, GLONASS und Galileo dem Nutzer bereit stehen und somit ein Optimum an Genauigkeit und Verfügbarkeit darstellen. Auch die Einsatzgebiete ziviler Nutzung werden sich umfangreicher gestalten.

## 5. Planung, Durchführung und Auswertung der Leitungsortung

### 5.1 Planung der Leitungsortungen

Bereits im zweiten Kapitel Ortungsverfahren wurden die akustischen und elektromagnetischen Methoden der Leitungsortung erläutert. Zugleich sollen einige der Leitungsortungsverfahren in einer Testreihe untersucht und im Anschluss verglichen werden. Zum einen um abermals die Vor- und Nachteile aufzuzeigen und zum anderen zur Ermittlung der erreichbaren Lagegenauigkeit der einzelnen Geräte.

Für die Realisierung der Leitungsortung müssen im Vorfeld verschiedene Aspekte betrachtet werden, die für die Planung und Durchführung zu beachten sind.

#### 5.1.1 Auswahl der Ortungsgeräte

Die Auswahl der Ortungsgeräte beschränkte sich auf die gegenwärtig verfügbaren Geräte der Stadtwerke Waren GmbH. Dadurch war auch der Zweck der zu ortenden Leitungen bestimmt.

Nach einigen Umfragen bei den entsprechenden Mitarbeitern kristallisierten sich drei Ortungsgeräte heraus. Als Beispiel für eine der akustischen Methoden kam das Impulswellenverfahren in die engere Auswahl. Das Pulswellenortungssystem besteht aus einem Empfänger (Bodenmikrofon) und einem elektronischen Impulsgeber (PWG) von der Firma Seba Dynatronic.

Zur Anwendung der elektromagnetischen Methode wurden die Magnetfeldbesendung und der Einsatz einer Schubsonde in Erwägung gezogen. Um die Magnetfeldbesendung auszuführen wurde ebenfalls von der Firma Seba Dynatronic ein Tonfrequenz-Generator und Empfänger eingesetzt. Hingegen kamen bei dem Verfahren mit einer Schubsonde ein Empfänger der Firma Radiodetection und die dazu gehörige Sonde als Sender zum Einsatz. Zum einen können mit diesen Instrumenten alle Leitungen aus den verschiedenen Bereichen der Versorgung geortet werden und zum anderen wird damit ein Grossteil der gebräuchlichsten Geräte untersucht.

#### 5.1.2 Auswahl eines Leitungsobjekts

Vor Beginn der Leitungsortung sind für die verschiedenen Ortungsverfahren geeignete Versorgungsleitungen bzw. geeignete Messorte zu erkunden. Eine derartige Objektwahl ist nicht immer praxisrelevant, jedoch wurde für die Testzwecke der Diplomarbeit bewusst darauf geachtet, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Zur Objektwahl wurden verschiedene Gesichtspunkte betrachtet. An vorderster Stelle wurde eine Versorgungsleitung benötigt, deren Koordinaten und somit auch die Lage der Leitung bekannt sind. Da in den letzten Jahren bei den Stadtwerken der größte Teil der Versorgungsleitungen von externen Vermessungsstellen eingemessen wurden, stellte dies kein Problem dar.

Nächstes Kriterium war die Wahl einer entsprechenden Versorgungsleitung aus den Bereichen Strom, Wasser und Abwasser für jedes der Ortungsgeräte.

Als letzter Gesichtspunkt wurde die Umgebung des jeweiligen Ortungsobjekts kritisch betrachtet, da bei den einzelnen Verfahren verschiedene Bedingungen für die erfolgreiche Durchführung herrschen müssen. Zum einen wären die Bedingungen zu nennen, die für die Leitungsortung an sich relevant sind. Das sind das Anbringen der entsprechenden Armaturen an die Leitung, die Vermeidung lauter Umweltgeräusche, oder Verzicht von Mehrwegseffekten bei dicht zusammen liegenden Leitungen. Die zweite Voraussetzung an die Umgebung richtete sich nach den verschiedenen Messbedingungen für die GPS-Handempfänger, da auch hier unterschiedliche Einflüsse geltend gemacht werden sollten. Die Unterscheidung sollte hier nach freiem Feld, leichter Abschattung und hoher Abschattung erfolgen. Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Messbedingungen für die GPS-Handempfänger erfolgt im nachstehenden Kapitel 6.

Die Ortungsobjekte wurden nach den oben beschriebenen Merkmalen ausgewählt. Diese befanden sich in der Nähe der Stadtwerke Waren, womit lange Anfahrtswege vermieden wurden. So wurden sämtliche Messungen in einer Ortslage nordwestlich von Waren, im Stadtgebiet Papenberg und auf dem Gelände der Stadtwerke Waren durchgeführt.

## 5.2 Durchführung der Leitungsortung

### 5.2.1 Alt Falkenhagen – Stromkabel

Die erste Ortung fand in Alt Falkenhagen, in einem kleinen Ort 10 km nördlich von Waren, statt. Hier war es die Aufgabe eine 0,4 kV Stromleitung zu orten. Dieses Kabel verlief von dem Kabelverteilerschrank am Ortseingang bis zu einem außerhalb liegenden Gehöft. Die Bedingungen hierbei waren optimal für eine Leitungsortung. Die Koordinaten der Leitung lagen vor, da das stromführende Kabel im letzten Jahr neu verlegt und von einer Vermessungsstelle eingemessen wurde. Weiterhin waren keine weiteren Stromkabel oder metallische Leitungen, die die Ortung negativ beeinflussen konnten, in unmittelbarer Umgebung.

Nach kurzer Orientierung im Felde konnte ohne jegliche Vorbereitung mit der Leitungsortung begonnen werden. Auf Grund der jahrelangen Erfahrungen und einem geschulten Gehör führte ein Mitarbeiter der Stadtwerke Waren die Ortung durch. Zur Durchführung wurde mit Geräten der Firma Seba Dynatronik gearbeitet. Im Einzelnen waren das ein Tonfrequenz-Empfänger FLE 90 Q mit einer Universal-Suchspule FS45/1 und den dazugehörigen Kopfhörern sowie ein Tonfrequenz-Generator FLS 8 QM mit einer Sendezange.

Der Empfänger, welcher mit einer senkrechten Spule ausgestattet ist, arbeitet auf der Grundlage der Minimumsmethode (Kapitel 2.2.1.2). Dadurch ist direkt über dem zu ortenden Kabel ein Tonabfall und zu den Seiten hinbewegend ein Anstieg des Tonsignals zu hören.

Auf Grund der Eigenfrequenz von 50 Hz auf der 0,4 kV Stromleitung versuchten wir das Kabel zuerst passiv (Kapitel 2.2.2) zu orten. Mit dem Tonfrequenz-Empfänger und der 50 Hz Einstellung an diesem Gerät war eine Ortung des Kabels möglich. Am Kabelverteilerschrank beginnend entlang der zu ortenden Leitung wurde das Signal jedoch immer schwächer bis hin zum Verstummen des Tones nach einigen Metern. Grund dafür war, dass nur ein Gehöft an diesem Stromkabel angeschlossen war und zum Zeitpunkt der Ortung zu wenig Strom im Haushalt abgenommen wurde. Um zu einem besseren Ergebnis zu gelangen, musste das

Kabel aktiv (Kapitel 2.2.3) besendet werden. Somit wurde das Stromkabel mit Hilfe des Tonfrequenz-Generators und der dazugehörigen Sendezange mit einer festgelegten Frequenz besendet. Im Verteilerschrank wurde die Sendezange um die 0,4 kV Leitung geklemmt. Wichtig hierbei war, dass sich die Zange um die Leitung schließen lässt. Sowohl am Empfänger als auch am Generator wurde eine Frequenz von 9820 Hz eingestellt. Somit wurde das Kabel mit dieser Frequenz besendet. Auch hier wieder am Kabelverteilerschrank beginnend wurde die Leitung geortet. Schnell wurde klar, dass mit dem aktiven Verfahren ein besserer Ton zu erreichen ist. Die zuvor mit 50 Hz georteten und mit Farbe versehenen Punkte lagen im Schnitt um 30 cm abweichend neben der nun nochmals georteten Leitung. Somit ist die Frequenz ein wichtiger Faktor für die erreichbare Genauigkeit. Aber auch die Tiefe der Leitung und das umgebende Erdmaterial sind Merkmale, welche die Genauigkeit der Ortung beeinträchtigt. Eine typische Verlegetiefe bei einem 0,4 kV Stromkabel beträgt in etwa 70 bis 100 cm, jedoch ist eine Aussage hierbei nicht zu treffen, da keine Tiefe der Verlegung in den Vermessungsunterlagen angegeben wurde.

Mit den langjährigen Erfahrungen des Mitarbeiters konnte in weniger als 10 Minuten in einem Intervall von 5 bis 10 m die Leitung auf einer Gesamtlänge von ca. 150 m geortet werden. Diese angezeigten Punkte wurden durch Tagesmarken gekennzeichnet und zusätzlich mit Farbe markiert. Da es keinen Nachweis über die Genauigkeit der Leitungsortung anhand eines Protokolls oder Ähnlichem gab, musste im Nachgang eine Aufmessung der georteten Leitungspunkte erfolgen. Der Ablauf zur koordinatenmäßigen Erfassung des georteten Stromkabels wird im Kapitel 5.3. näher beschrieben. Die Darstellen der Ergebnisse – Abweichung zur Solllage – sind im Kapitel 5.4.2 aufgezeigt.

## 5.2.2 Waren, Nesselberg Waldweg – Trinkwasserleitung

Als nächstes war es die Aufgabe, eine Trinkwasserleitung in Waren auf dem Nesselberg zu lokalisieren. Es handelt sich hier um eine Leitung aus dem Material Polyethylen mit einem Außendurchmesser von 110 mm (PE-HD 110), die für die Wasserversorgung von nahe liegenden Eigenheimen und für die städtische Parkanlage, im speziellen eines Springbrunnens, dient. Diese Wasserleitung wurde im Jahre 1999 neu verlegt und eingemessen. Dadurch ist auch die Lage dieser Leitung georeferenziert.

Da es sich hier um ein nicht leitendes Rohrmaterial handelt war eine Leitungsortung durch die Magnetfeldbesendung nicht möglich. Zur Feststellung der Lage dieser Kunststoffleitung wurde ein akustisches Ortungsverfahren eingesetzt. Zur Ortung wurden wiederum zwei Geräte der Firma Seba Dynatronic verwendet. Zum einen ein Bodenmikrofon zum Empfang der Schallwellen und zum anderen ein Pulswellengenerator der diese erzeugt.

Der Anschluss des Pulswellengenerators erfolgte über einen Unterflurhydranten, der sich unterhalb einer Hydrantenkappe befindet. Der Unterflurhydrant ermöglicht den Anschluss eines Standrohres, welches wiederum die Verbindung des Pulswellengenerators zulässt. Somit wurde der Generator mit der Wassersäule der zu ortenden Leitung verbunden und die Rohrleitung brauchte nicht stillgelegt werden.

Um nun die Schwingungen in der Leitung zu erzeugen, wurde der Pulswellengenerator an eine Autobatterie mit 12 Volt angeschlossen. In der verbundenen Wasserleitung wurde nun

durch das elektronische Öffnen und Schließen des Ventils im Pulswellengenerator eine Druckwelle erzeugt. Diese setzte sich in der Wassersäule fort und an der Oberfläche konnten deren Schwingungen mittels Bodenmikrofon und den dazugehörigen Kopfhörern empfangen werden. Am Empfänger wurde die Intensität, die direkt über der Leitung am stärksten ist, optisch angezeigt und gleichzeitig über die Kopfhörer akustisch vernommen. Die unterschiedlichen Geräuschstärken lassen sich eher über den optischen Messwert miteinander vergleichen als über das akustische Signal mit dem eigenen Gehör. Durch schrittweises Vorwärtssetzen des Mikrofons wurde die genaue Ortung vollzogen. Bei besonders starkem Ton wurde das Bodenmikrofon mehrmals vor- und rückwärts geführt, um so die Lage der zu ortende Leitung grob einzukreisen. Anhand der optischen Anzeige in Form eines Balkenausschlags, konnte nun die höchste Intensität der Lautstärke und somit die Lage der Leitung innerhalb dieses Radius ermittelt werden.

Um dieses Verfahren zu praktizieren, musste ein Mindestdruck von 2 bar in der Wassersäule herrschen. Schnell wurde auch hier klar, dass dieses Verfahren nur von geschultem Personal bzw. von Mitarbeitern mit langjährigen Erfahrungen erfolgreich durchzuführen war, denn die Leitungsortung wurde durch ungleichmäßige Bodenstrukturen und verschiedene Oberflächen erschwert. Es kamen zum Teil gepflasterte Bereiche, Rasenflächen aber auch mit Schotter befestigte Wege vor. Die abwechselnden Oberflächen führten zu Störungen der Schallwellen, da sie durch die unterschiedlichen Materialien verschieden stark übertragen und weitergeleitet wurden.

Eine weitere Einschränkung waren die auftretenden Stör- und Nebengeräusche, obwohl dieses Messobjekt absichtlich in einem ruhig gelegenen Park gewählt wurde. Mit den Kopfhörern hört man selbst Gespräche in geringen Entferungen. Ausreichend für eine störende Geräuschüberlagerung und extrem hoher Geräuschintensität ist hierbei schon ein vorbeigehender Fußgänger. Durch die hohe Empfindlichkeit ist dieses akustische Ortungsverfahren stark von Fehlerquellen beeinflussbar.

Tagesmarken wurden auch hier zur Kennzeichnung der georteten Punkte und somit des vermutlichen Verlaufs der Wasserleitung eingesetzt. Da wir uns in einem Park befanden wurde auf eine übliche Markierungsfarbe verzichtet.

Die Bestimmung der Lageabweichung zwischen der georteten Lage und der tatsächlichen Lage der Leitung erfolgt wiederum im Kapitel 5.3.

### **5.2.3 Waren, Gelände Stadtwerke – Regenentwässerungskanal**

Im letzten Test soll ein Regenentwässerungskanal auf dem Gelände der Stadtwerke Waren GmbH aufgesucht werden. Der aus PVC (Polyvinylchlorid) bestehende Kanal hat einen Durchmesser von 250 mm. Er liegt augenscheinlich parallel zu einer Lagerhalle und dient zur Regenentwässerung des Hofgeländes.

Zum Geräteeinsatz bei der Ortung mit einer Schubsonde kamen ein Empfänger der Firma Radiodetection und eine Sonde mit einer dazugehörigen 60 Meter langen Schubstange. Um die Sonde zu aktivieren, musste eine Batterie vom Typ AA eingelegt werden. Ist das Gerät nicht im Einsatz, wird die Batterie in verkehrter Richtung in der Sonde gelagert. Der Empfänger, der nach der Maximummethode (Kapitel 2.2.1.2) arbeitet, wird ebenfalls mit

Batterien betrieben. Durch den Einbau von zwei waagerecht angeordneten Spulen ist mit diesem Gerät auch eine Tiefenbestimmung möglich, was jedoch nicht zur Aufgabenstellung dieser Arbeit gehört.

Durch das Öffnen des vorhandenen Regenwasserschachts wurde der Kanal für die einzuschiebende Sonde zugänglich. Bevor jedoch der Sender in den Kanal eingeführt wurde, musste eine Funktionsüberprüfung beider Geräte durchgeführt werden. Dazu wurde die Sonde etwa 1,50 m weit vom Empfänger entfernt positioniert. Der auf die Sonde gerichtet Empfänger konnte nun ein Signal empfangen, womit die Funktionstüchtigkeit der beiden Geräte sichergestellt wurde.

Nach der Überprüfung wurde die Sonde, die einen Gewindestutzen besitzt, auf die Schubstange aufgeschraubt und über den geöffneten Schacht in den zu ortenden Kanal geschoben. Hierbei war es wichtig, von Anfang an mit dem Empfänger den Sender in der Leitung zu verfolgen, um ihn nicht aus dem Empfangsbereich zu verlieren. Durch das Hin- und Herbewegen des Empfängers und das bestätigende Ertönen eines Signals wurde dies verhindert. Der Empfänger wurde zum Orten permanent lotrecht gehalten. Mit dem Empfindlichkeitsregler am Empfänger muss man die empfangene Signalstärke optisch und zugleich akustisch kalibrieren. Der optische Zeigerausschlag darf das Maximum der Anzeige bei vollem Empfang (direkt über der Leitung) nicht überschreiten. Zur optimalen Einstellung sollte sich der Zeigerausschlag nach Herstellerangaben bei vollem Empfang in einem Bereich zwischen 60 und 80 Prozent der Skala befinden. Das akustische Signal wird dabei gleichzeitig mit eingestellt. Im Verlauf der Messung wird dieser Vorgang mehrmals wiederholt, um fortwährend optimale Messergebnisse zu erzielen.

Nach einigen Metern wurde der Regenentwässerungskanal, der mit der Sonde bestückt war, lokalisiert und anschließend mit Farbe an der Erdoberfläche gekennzeichnet. Hierzu wurde zuerst die Lage des Senders in Richtung der Leitung bestimmt. Dazu musste der Empfänger vorwärts und rückwärts entlang der vermutlichen Leitung bewegt werden. Es war ein Vor-, ein Spitzen- und ein Nachsignal zu vernehmen. Sobald ein Spitzensignal angezeigt und somit die Lage der Sonde in Kanalrichtung erfasst wurde, konnte nun die Lage rechtwinklig zum vermuteten Leitungsverlauf bestimmt werden. Hierzu wurde der Empfänger 90 Grad um die eigene senkrechte Achse gedreht und hin- und herbewegt. Nachdem auch in dieser Richtung ein maximales Signal erfasst wurde, konnte der geortete Leitungspunkt markiert werden. Die im Kanal befindliche Sonde wurde im Anschluss jeweils einige Meter weiter geschoben, geortet und kenntlich gemacht.

Im Folgekapitel 5.3 wird ebenfalls die Erfassung der georteten Leitung dargelegt.

### 5.3 Erfassung der georteten Leitungen

Um eine Aussage über die Lageabweichung des georteten Leitungsverlaufs gegenüber dem tatsächlichen treffen zu können, war es notwendig, die mit den jeweiligen Ortungsgeräten ermittelten Punkte an der Erdoberfläche messtechnisch zu erfassen. Dazu musste ein Messverfahren gewählt werden, welches eine übergeordnete Genauigkeit in der Koordinatenbestimmung zulässt, um eine präzise Lagedifferenz ermitteln zu können. Ebenfalls sollte ein Koordinatensystem gewählt werden, in dem sich bereits die

Sollkoordinaten befanden. In diesem Fall liegen alle Koordinaten im Gauß-Krüger 3° Streifensystem „S42/83 GK“ (siehe Kapitel 3.3.1) vor.

Nach Betrachtung der geforderten Kriterien fiel die Entscheidung auf ein kombiniertes Messverfahren mittels eines GPS Zweifrequenz-Empfänger und einer Totalstation. Geräte, sämtliche Zubehörteile, Software sowie Personal wurden mir vom Kataster- und Vermessungsamt Waren zur Verfügung gestellt.

Beide verwendeten Geräte sind von der Firma Trimble. Zum einen der Rover 5800 als GPS-Empfänger und die Totalstation der 5000-Serie, im Speziellen das 5503 RD 2000+. Diese Geräte sind moderne Instrumente hoher Genauigkeitsklasse. Die Totalstation erreicht eine Streckengenauigkeit von  $\pm 3\text{mm} + 3\text{ ppm}$  und eine Winkelgenauigkeit von 1 mgon. Da die Instrumente in regelmäßigen Abständen kalibriert werden, war hierzu keine weitere Überprüfung nötig. Die GPS-Messung erfolgte in Echtzeit. Die Korrekturdaten wurden vom SAPOS®-HEPS Dienst (siehe Kapitel 3.11.3.1) in Anspruch genommen.

Kombinierte Messverfahren haben den Vorteil, dass man die Vorteile der einzelnen Methoden in Anspruch nehmen kann. Bei der GPS-Messung kann man sich unabhängig von Aufnahmenetzen (AP's) freie Standpunkte in und um das Messgebiet legen und sehr präzise Koordinaten bestimmen. Das spart enorm Zeit und steigert die Genauigkeit. Werden Messpunkte aus großer Entfernung zur Messung herangeführt, entstehen leichte Messfehler bei der Netzmessung. Beim Ausgleichen dieser Netze werden kleinere Fehler oft verschmiert, was sich negativ auf die Genauigkeit auswirkt.

Durch die Zweite von mir gewählte Messmethode (terrestrisch) ist es möglich, Messungen bei hohen Abschattungen oder starken Störsignalen durchzuführen, ohne dass die Genauigkeit leidet. Da zur Erprobung von verschiedenen Messgeräten (Handempfängern) im Verlauf der Diplomarbeit auch unterschiedliche Kriterien bei der Wahl des Leitungsobjekts zu Grunde gelegt wurden, gibt es speziell hier Messgebiete mit sehr hoher Abschattung. Daher ist die Wahl eines kombinierten Messverfahrens prädestiniert für diese Aufgabe.

### 5.3.1 Messablauf Alt Falkenhagen

Begonnen wurde mit dem 0,4 kV Stromkabel in Alt Falkenhagen. Zunächst erfolgte ein Überblick über den Verlauf der Leitung in der Örtlichkeit. Diese war recht deutlich zu erkennen, da im Vorfeld bei der Ortung die Punkte mit Tagesmarken und Farbe markiert wurden. Beim Verschaffen des Überblicks erfolgte die Anfertigung eines Feldrisses, um die Übersicht bewahren und gegebenenfalls Notizen machen zu können. Nach der Orientierung in der Örtlichkeit wurden zwei Messpunkte festgelegt und mit Eisenrohren vermarkt. Die Messpunkte, welche als Basislinie dienen sollte, waren von ihrer Lage her so gewählt, dass sich die zu messenden Punkte dazwischen befanden und annähernd parallel zur georteten Leitung lagen. Da die Messpunkte für spätere Zwecke noch Verwendung finden sollten, wurden sie vermarkt.

Nachdem die Messpunkte festgelegt und im Feldriss vermerkt waren, wurden Stative darüber errichtet. Über dem jeweiligen zu messenden Punkt wurde der GPS-Empfänger (Abb. 5.3.1-1) aufgestellt und die Antennenhöhe, vom Eisenrohr bis zur Unterkante der Antenne, ermittelt.



Abb. 5.3.1-1: Trimble 5800

Die beiden Koordinatenpaare wurden nun mit Hilfe des SAPOS®-Dienstes in Echtzeit bestimmt. Gemessen wurden im ersten Durchlauf 60 Epochen. Der Toleranzbereich der Messung für die horizontale Abweichung wurde für die einzelnen Positionsunterschiede mit 2 cm gewählt. Das heißt, jede bestimmte Position sollte nicht mehr als 2 cm aus dem Gesamtmittel abweichen. Die Positionen, welche diesen Wert überschreiten, werden vom Instrument eliminiert und dafür jeweils eine zusätzliche Epoche gemessen. Der Messablauf gilt erst dann als abgeschlossen, wenn 60 Epochen unter dem Lagemittel von 2 cm erreicht sind. Die Messergebnisse aus den 60 Epochen werden nun zu einer Position zusammengefasst. Ist dies geschehen, wird der Punkt vom Instrument gespeichert. Eine detaillierte Beschreibung der zu beobachtenden Werte erfolgt im folgenden Text bei der Auswertung anhand eines Messprotokolls „Qualität der GPS-Messung“.

Beim zweiten Durchlauf wurden ebenfalls 60 Epochen mit identischem Toleranzbereich gemessen. Zwischen den beiden Sessions wurde eine Messpause von mindestens einer Stunde eingehalten, um zu gewährleisten, dass andere Messbedingungen herrschen. Hier ist in jedem Fall eine neue Konstellation der Satelliten zu erwarten. Auch werden dann andere Satelliten zur Positionsbestimmung genutzt.

Nachdem für beide Aufnahmepunkte die GPS-Messung erfolgreich abgeschlossen war wurden die Koordinaten aus beiden Sessions gemittelt und zur Totalstation übertragen. Die Koordinatendifferenzen für die AP's aus beiden Messungen betragen

Pkt.nr.	$\Delta y$ [mm]	$\Delta x$ [mm]
8000	3	1
8001	11	19

Eine Mittlung dieser Koordinaten schreibt die SatLiVermVV (Verwaltungsvorschrift für die Nutzung des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung SAPOS® und anderer satellitengestützter Vermessungsverfahren im Liegenschaftskataster des Landes Mecklenburg Vorpommern) vor.

Durch die nun gut vorbereitete und mit Koordinaten versehene Basislinie stand der Messung mit der Totalstation nichts mehr im Wege. Aus Gründen der Kontrolle und Beibehaltung der recht hohen Genauigkeit entschied ich mich für eine tachymetrische Doppelaufnahme der markierten Punkte für die geortete Leitung.



Abb. 5.3.1-2: Trimble 5503 RD 2000+

Zunächst wurde die Totalstation (Abb. 5.3.1-2) auf den Punkt 8000 gesetzt und nach Punkt 8001 orientiert. Die Richtung wurde mit  $Hz = 0,000$  gon festgelegt und die Strecke zwischen den beiden Punkten 8000 – 8001 mit dem integrierten EDM (elektronischer Distanzmesser) gemessen. Da die Koordinaten der beiden AP's sich in der Datenbank des Instruments befinden, erfolgte ein Abgleich aus gemessener und gerechneter Strecke. Der Fehler wird dann als Streckenfehler im Display angezeigt. In meinem Fall betrug der Streckenfehler 0,000 m. Dieses hervorragende Ergebnis lässt gleich einen Rückschluss auf die innere Genauigkeit der GPS-Messung zu und dient somit zur Kontrolle der GPS-Messung sowie auch der Orientierung mit der Totalstation. Anbei sei bemerkt, dass eine sehr gute Kontrolle für die innere Genauigkeit die Anordnung der Messpunkte als Dreieck wäre. So können nicht nur die Strecken kontrolliert werden, sondern auch die Öffnungswinkel zwischen den Fernzielen, was in der Vermessung als Abriss bezeichnet wird. In diesem Fall ließ die Örtlichkeit aber keine Dreiecksanordnung der Messpunkte zu, da sich die Leitung entlang einer Straße befindet.

Dann wurden mit dem Reflektorstab die markierten Punkte der georteten Leitung der Reihe nach aufgehalten. Zu diesen Punkten wurde mittels Tachymeter Winkel und Strecke gemessen und gespeichert. Jeder Punkt erhielt eine Punktnummer, welche im Feldriss zur Messung notiert wurde. Dabei ist große Sorgfalt auf die Punktnummern zulegen, um spätere Auswertungen ohne Verwechslungen vornehmen zu können.

Danach wurden die Leitungspunkte von Standpunkt 8001 mit Orientierung zu 8000 ein zweites Mal aufgemessen. Jeder Punkt erhielt die gleiche Punktnummer wie bei der ersten Messung. Sichtbar ist dieses im Messprotokoll „Qualität TS-Messung“. Zu erwähnen ist noch, dass in der Örtlichkeit im Koordinatenmodus gemessen wird. Die ermittelten Koordinaten aus der ersten Messung für die Leitung werden in der Datenbank des Instruments mit der jeweiligen Punktnummer abgelegt. Bei der zweiten Messung werden die ermittelten Koordinaten mit der ersten Messung abgeglichen, vorausgesetzt man achtet auf

die identische Punktnummerierung. Auch hier ist ein Toleranzbereich von 2 cm im Messinstrument eingegeben worden. Überschreitet die Lageabweichung diesen Wert wird die Differenz angezeigt. Der Beobachter kann dann entscheiden, wie mit diesen Werten umzugehen und weiter zu verfahren ist. Hauptsächlich stehen drei Optionen zur Wahl: Löschung der Messung, Mittlung der beiden Beobachtungen oder Abspeichern als Prüfpunkt. Um im Innendienst die Fehler im Auswerteprogramm genauer betrachten zu können, empfiehlt es sich die dritte Option „Abspeichern als Prüfpunkt“ zu wählen. Ist die Differenz kleiner als der eingegebene Toleranzbereich, wird der doppelt gemessene Punkt automatisch als Prüfpunkt abgespeichert.

Nach Abschluss der zweiten Messung mit der Totalstation waren alle relevanten Messwerte gesammelt, um im Innendienst eine Auswertung der Daten vornehmen und einen Vergleich zu den Sollkoordinaten der Leitung herstellen zu können.

Es erfolgte noch eine Einmessung der AP's mit dem Messband auf markante Punkte (Trafo, Leitungsmast, Straßenkante), um diese Messpunkte bei einer späteren Messung schnell auffinden zu können.

### 5.3.2 Messablauf Nesselberg Waldweg

Einen nahezu identischen Messablauf vollzog ich bei der Vermessung der Ortungsergebnisse für die Trinkwasserleitung auf dem Nesselberg (Waldweg). Auch hier verschaffte ich mir einen Überblick über das Messfeld und fertigte einen Feldriss an.

Hier war es mir jedoch möglich, ein Aufnahmenetz in Form eines Dreiecks zu kreieren. Die Lage gestaltet sich etwas anders als in Alt Falkenhagen. Das Dreiecksnetz umschloss nicht die aufzumessenden Punkte, sondern lag etwas gesondert neben dem Objekt, da sich im Anschluss ein zweites Messgebiet befindet, welches ebenfalls im Zuge der Diplomarbeit genauer untersucht werden soll. Demzufolge legte ich das Netz zentral zwischen die beiden Messgebiete, so dass alle eventuell zu messenden oder abzusteckenden Punkte von einem der drei Messpunkte gut sichtbar waren. Aus obig genannten Gründen war es auch hier gegeben, die Punkte mit Eisenrohren zu vermarken.

Die GPS-Messung wurde wieder mit Hilfe des SAPOS®-HEPS Dienstes durchgeführt. Zweimal 60 Epochen mit entsprechender Messpause und anschließender Mittlung der Koordinaten waren auch hier die Option für eine hohe Genauigkeit.

Vorteil beim Umgang mit der Totalstation war hier das Messen von Abrissen bei der Stationierung, da hier wie schon erwähnt das Aufnahmenetz in Form eines Dreiecks gelegt wurde und alle Messpunkte Gegensicht zueinander hatten. Diese daraus resultierende Möglichkeit der Kontrolle der inneren Genauigkeit ist ein entscheidender Vorteil, um seine Messung direkt vor Ort prüfen zu können.

Die erreichten Ergebnisse waren sehr zufrieden stellend, da sich die Winkelverbesserung bei den Stationierungen auf unter 20 mgon belief. So kontrolliert vorbereitet, kam auch hier eine tachymetrische Doppelaufnahme beim Aufmessen der Leitung zum Einsatz, um eventuellen Fehlern oder Ungenauigkeiten vorzubeugen. Alle Messwerte wurden gespeichert und die Punktnummern der einzelnen georteten Punkte im Feldriss säuberlich notiert. Protokolle als Nachweis der Messwerte sind auch hier auf der CD in der Anlage A beiliegend.

### 5.3.3 Messablauf Gelände Stadtwerke

Die dritte Datenerfassung sollte sich etwas anders gestalten. Auf Grund des kleinen Umfangs des Objekts sollte hier auf die Benutzung einer Totalstation verzichtet werden. Jedoch war dies auf Grund der hohen Abschattung durch hohe Lagerhallen, nicht umzusetzen. In einem Abstand zu den Lagerhallen außerhalb der Abschattung wurden zwei Aufnahmepunkte gelegt und ebenfalls mit zwei Eisenrohren vermarkt. Ferner erfolgte die Messung dieser Punkte abermals über den Zweifrequenz-Empfänger mit SAPOS®-HEPS Korrekturen in Doppelbestimmung und einstündigem Zeitverzug. Das Aufmass der gekennzeichneten Punkte aus der vorhergehenden Leitungsortung wurde mit der Totalstation von Trimble durchgeführt. Die Kontrollmessung war auch hier durch eine Zweifachbestimmung gegeben. Zur besseren Übersicht und späteren Auswertung wurde von der georteten Leitung ein Feldriss angefertigt und Punktnummern vergeben.

Da in diesem Fall keine Sollkoordinaten der Leitung existierten, wurden der Anfangs- und der Endschacht des Objekts geöffnet und die Koordinaten der Leitung direkt im Felde ermittelt. Es ist davon auszugehen, dass die Leitung zwischen den Schächten geradlinig verläuft. Protokolle liegen auf der CD der Anlage A bei.

## 5.4 Auswertung der georteten Leitung

### 5.4.1 Allgemeine Hinweise zur Auswertung

Zur Betrachtung der Messwerte und deren Auswertung sind Protokolle für die „Qualität der GPS-Messung“, „Qualität der TS-Messung“ sowie ein Parameterprotokoll der „GPS-Kalibrierung“ sehr hilfreich. Im Folgenden sollen die Protokolle etwas näher erläutert werden und insbesondere etwas mehr auf die GPS-Kalibrierung eingegangen werden.

Qualität der TS- Messung						
Projekt : Falkenhagen 0,4kV						
<b>Benutzername</b>	Harbrecht	<b>Datum &amp; Zeit</b>		07:32:05 29.04.2008		
<b>Koordinatensystem</b>	Site	<b>Zone</b>		Germany 42/83 12 (Zone 4)(2(2))		
<b>Projektdatum</b>	Kalibrierung(2)					
<b>Vertikales Datum</b>		<b>Geoid-Modell</b>			GEOID MV(2)	
<b>Koordinateneinheiten</b>	Meter					
<b>Streckeneinheiten</b>	Meter					
<b>Ellips. Höheneinheiten</b>						
<b>Fernpunkt</b>	<b>Standpkt.</b>	<b>Polarpkt.</b>	<b>HR</b>	<b>ZD</b>	<b>S'</b>	<b>Pris.Kons</b>
453908001	453908000	453908001	0,000	101,735	142,168m	-35,0
453908001	453908000	453908100	39,516	102,921	14,048m	-35,0
453908001	453908000	453908101	27,638	102,588	20,929m	-35,0
453908001	453908000	453908102	21,689	102,274	27,273m	-35,0

Abb. 5.4.1-1: Beispiel für Qualität der TS-Messung

Das Protokoll „Qualität der TS-Messung“ (Abb. 5.4.1-1) gestaltet sich sehr übersichtlich. Hierin sind die Instrumentenstandpunkte, die Fernziele sowie die aufgemessenen Polarpunkte enthalten. Zu den einzelnen Positionen sind die Horizontalrichtung, Zenitdistanz und die Schrägstrecke sowie Prismenkonstante notiert. Da in der Örtlichkeit im

Koordinatenmodus gemessen wird, ist dieses Protokoll eine Rückrechnung aus den Koordinaten und dient ausschließlich der Übersicht.

Qualität der GPS- Messung											
Projekt : Falkenhagen 0,4kV											
<b>Benutzername</b>	Harbrecht			<b>Datum &amp; Zeit</b>			07:30:40 29.04.2008				
<b>Koordinatensystem</b>	Site			<b>Zone</b>			Germany 42/83 12 (Zone 4)(2)(2)				
<b>Projektdatum</b>	Kalibrierung(2)										
<b>Vertikales Datum</b>							<b>Geoid-Modell</b>				
<b>Koordinateneinheiten</b>	Meter						GEOID MV(2)				
<b>Streckeneinheiten</b>	Meter										
<b>Ellips. Höheneinheiten</b>											
Name	Anthö	Startzeit	Stopzeit	RMS	HDOP	VDOP	Epoch.	Satell.	H.Ge.	V.Gen.	
453908000	1,450m	11:43:05	11:44:10	0,0024m	1,167	2,043	62	6	0,005m	0,009m	
		26 Mrz 2008									
453908001	1,465m	11:52:14	11:53:19	0,0015m	0,876	1,359	62	5	0,008m	0,011m	
		26 Mrz 2008									
453908000	1,450m	12:43:47	12:45:30	0,0018m	1,398	2,492	61	6	0,005m	0,009m	
		26 Mrz 2008									
453908001	1,465m	12:50:42	12:51:56	0,0082m	1,324	2,300	62	7	0,007m	0,012m	
		26 Mrz 2008									

Abb. 5.4.1-2: Beispiel für Qualität der GPS-Messung

Beim Protokoll für die „Qualität der GPS-Messung“ (Abb. 5.4.1-2) verhält es sich etwas anders. Hierin finden sich relevante Angaben wieder, an denen man die Güte einer GPS-Messung einschätzen und beurteilen kann. Dieses betrifft insbesondere die Dauer einer Messung, die Anzahl der Epochen (Positionen), RMS-Wert, H-DOP, V-DOP und die Anzahl der genutzten Satelliten. In der Regel dauert die Messung einer Epoche ca. eine Sekunde, das heißt 60 gemessene Epochen entsprechen in etwa einer Minute. Wird diese Zeit weit überschritten, ist davon auszugehen, dass Störquellen die Messung beeinträchtigten und die Genauigkeit der Messung gelitten hat. Der RMS-Wert (*Root Mean Square*; quadratischer mittlerer Fehler) weist auf die Intensität der Störsignale hin. Je höher der RMS-Wert, desto mehr Störungen wie Abschattungen, Mehrwegeeffekte oder Funkwellen liegen vor. Diese beeinflussen das Messergebnis negativ. Der V- und der H-DOP geben ein Maß für die Genauigkeit in vertikaler und horizontaler Richtung des zu messenden Punktes an. Sie sollten den Wert von 2,0 nicht überschreiten. Ausgedruckt werden in den Protokollen die Maximalwerte für RMS, V-DOP und H-DOP und keine Durchschnittswerte. Aus diesem Grund sind die aufgezeigten Werte mitunter recht hoch. Entscheidend ist die innere Genauigkeit (horizontale und vertikale Genauigkeit), sie bildet einen Durchschnittswert aus allen für einen Punkt gemessenen Epochen.

Im Protokoll der „GPS-Kalibrierung“ (Abb. 5.4.1-3) sind alle verwendeten Parameter für die Transformation der gemessenen Punkte vom WGS84 zum S42/83 GK enthalten. Einzelheiten über eine Transformation von einem Bezugssystem in ein anderes sind im Kapitel 3.3.1 näher beschrieben. Diese Transformation wurde in der Software Trimble Geomatics Office (TGO) erstellt und basiert auf dem Benutzerfestpunktfeld, welches vom Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg Vorpommern (LAIV) in Schwerin herausgegeben wurde (Benutzerfestpunktfeld basiert hauptsächlich auf dem TP-Netz). Die Benutzerfestpunkte existieren im WGS84 und im S42/83 GK. Diese Werte werden in der TGO gegenübergestellt und die Parameter der Datumstransformation sowie der Verebnung in kartesische Koordinaten daraus errechnet. Den Berechnungen wird ein Geoid-Modell

(MV2) hinzugefügt, welches ebenfalls vom LAIV in Schwerin zur Verfügung gestellt wird. Der Geltungsbereich ist das Bundesland Mecklenburg/Vorpommern. Mit diesem Modell erreicht man die bestmögliche Anpassung der Erdoberfläche an die Rechenoberfläche des Ellipsoids.

GPS-Kalibrierung			
Benutzername	KVA- Waren Müritz	Datum & Zeit	01.04.2008
Koordinatensystem	Site	Zone	Germany 42/83 12 (Zone) (2)(2)
Projektdatum	Kalibrierung		
Vertikales Datum		Geoid- Modell	GEOID MV (2)

Datum-Transformation-Parameter	
Methode	Sieben Parameter
Rotation um X-Achse	-0,000074
Rotation um Y-Achse	-0,001105
Rotation um Z-Achse	0,000197
Verschiebung entlang X-Achse	-111,209m
Verschiebung entlang Y-Achse	142,765m
Verschiebung entlang Z-Achse	151,022m
Maßstabsfaktor (ppm)	-0,690

Abb. 5.4.1-3: Beispiel für Transformation „GPS-Kalibrierung“

Durch die Benutzung einer Transformation erreicht man eine sehr hohe ortsgebundene Genauigkeit in einem für sich genutzten Koordinatensystem. Mit der Nutzung des SAPOS®-HEPS Dienstes und einer ortsgebundenen Transformation, liegt die Lagegenauigkeit zwischen 2 und 3 cm.

## 5.4.2 Auswertung der Messwerte

Sämtliche Protokolle, Qualität der GPS-Messung und der TS-Messung von Alt Falkenhagen, auf dem Nesselberg und Stadtwerke befinden sich auf der CD in der Anlage A. Weithin sind dort enthalten die Transformation „GPS-Kalibrierung“, die Berechnungen diverser Absteckelemente, die Auswertungen in Microsoft Excel und die dazugehörigen Plots.

Das Aufmessen der georteten Leitungen sowie das angewandte GPS-Verfahren zur Bestimmung der Aufnahmepunkte sind als sehr gut einzuschätzen. Messablauf sowie Datenfluss funktionierten reibungslos. Die Messergebnisse gelten auf Grund der Einhaltung der gesetzten Toleranzbereiche (GPS-Messung 2 cm/ Tachymeter-Doppelaufnahme 2 cm) und des gewählten Messablauf als kontrolliert und richtig. Sie können somit uneingeschränkt zum Abgleich mit der Sollkoordinate der Leitung genutzt werden.

Die Berechnung der Absteckelemente für jeden einzeln aufgemessenen Punkt erfolgte mit der Software „VPR“ (Vermessungs-Programme-Riemer). Dies ist ein Anwenderprogramm mit dem sämtliche Berechnungen im Katasteramt Waren durchgeführt werden. Der Abgleich mit den Sollkoordinaten der Leitung und somit der Auswertung der Absteckwerte erfolgte hingegen mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel.

In der folgenden Tabelle 5.4.2 sind die Abweichungen zur Sollkoordinate der Leitung unterteilt nach den einzelnen Leitungsortungsverfahren dargestellt. Hierbei wurden durchschnittliche Abweichung und Standardabweichung als Mittelwert aus den Absteckwerten berechnet.

	Ortungsverfahren		
	Alt Falkenhagen	Nesselberg Waldweg	Gelände Stadtwerke
	Magnetfeldbesendung	Pulswellengenerator	Schubsonde
	Lage [m]	Lage [m]	Lage [m]
<b>durchschnittl. Abweichung</b>	0,32	0,36	0,14
<b>größte Abweichung</b>	0,45	1,02	0,21
<b>Standard-abweichung</b>	0,35	0,51	0,18

Tab. 5.4.2: Abweichungen zur Solllage

Das Pulswellenverfahren zeigt sich als ungenaueste Methode der verwendeten Leitungsortungsverfahren. Es ist nicht nur von der Bodenart, sondern noch stärker von der Beschaffenheit der Erdoberfläche abhängig. Diese kann durch die unterschiedliche Schallübertragung Abweichungen bis zu 1 m verursachen.

Das Verfahren der Magnetfeldbesendung ist eher abhängig von der Bodenart und der Länge der Leitung von der Anschlussstelle bis zum Verbraucher. Mit zunehmendem Abstand vom Verteilerschrank nimmt die Signalintensität ab und die Ortung wird erschwert. Dies führt wiederum zu ungenauereren Messwerten, welche sich durch eine aktive Besendung verbessern lassen. Da die Beschaffenheit des Bodens vermutlich über die gesamte untersuchte Strecke gleich war, konnten an allen georteten Punkten annähernd gleiche Lageabweichungen ermittelt werden.

Signifikant ist zu erkennen, dass die Leitungsortung mit der Schubsonde das genaueste von den drei angewendeten Verfahren ist. Dieses ist auf das starke Sendesignal der Sonde zurückzuführen. Auch die vermutlich gleichmäßige Bodenbeschaffenheit ließ ein konstant gutes Ergebnis zu.

## Fazit

Die verwendeten Ortungsverfahren sind geeignete Methoden um Leitungen in einem beschränkten Radius zu finden. Sie sind jedoch stark durch Störquellen beeinflussbar. Hier ist insbesondere das Verfahren mit dem Pulswellengenerator, wie bereits beschrieben, zu erwähnen.

Des Weiteren sind die vorbereitenden Maßnahmen zu nennen, welche mitunter zum Orten der Leitung erforderlich sind. In den untersuchten Fällen musste eine Sendezange angelegt, ein Pulswellengenerator mit einem Standrohr an einen Hydranten angebracht und einzelne Schächte geöffnet werden. Bei anderen Methoden, welche nicht betrachtet wurden, müssen Leitungen geöffnet werden. Das hat zur Folge, dass Endverbraucher für die Zeit der Maßnahme nicht versorgt werden und anschließend Schritte zur Verhinderung hygienischer Verunreinigungen notwendig werden.

Für den Umgang mit den Ortungsgeräten sollte immer geübtes und geschultes Fachpersonal zur Verfügung stehen, um die Genauigkeit der Ortung nicht zusätzlich zu verschlechtern.

## 6. Planung, Durchführung und Auswertung der GPS-Handempfänger

### 6.1 Anforderungsprofil an einen GPS-Handempfänger

Im Rahmen der Leitungsbestandsdokumentation müssen verlegte Versorgungsleitungen mit vermessungstechnischen Hilfsmitteln aufgemessen und aufgefunden werden. Dazu sollte zur Verwendung in den Stadtwerken Waren ein GPS-Handempfänger folgende Kriterien erfüllen.

- *Genauigkeit und Zuverlässigkeit*
  - Aufnahme (mind. 30 cm) und Absteckung (mind. 1 m)
  - DGPS (Korrekturdaten für DGPS-Messung und Post-Processing)
  - Möglichkeit zur Beurteilung der Messungsqualität (DOP-Wert, Satellitenanzahl)
- *Benutzerfreundlichkeit:*
  - intuitiv bedienbar (keine vermessungstechnische Ausbildung notwendig, problemloses Anwenden durch Mitarbeiter die mit EDV vertraut sind)
  - Messdauer je Punkt (< 1 min)
  - Möglichkeit zum Erfassen von Bemerkungen zum gemessenen Punkt
  - Erweiterbarkeit der zu erfassenden Fachinformationen
  - Messergebnis im benutzerdefinierten Koordinatensystem (S42/83 GK)
  - Datenaustauschformat (DXF, SHAPE)
  - Automatischer Datenfluss
  - Hintergrundkarten verwenden (lokal und im Internet gespeicherte Orthophotos)
  - als Handgerät geeignet (hinsichtlich Größe/ Gewicht)
  - Akkubetrieb für einen ganzen Arbeitstag
- *Preis*
  - unter 10.000 € für ein Vollsystem

Näher untersucht werden sollen GPS-Handempfänger auf ihre Benutzerfreundlichkeit, erreichbare Messgenauigkeiten und Einsatzgebiete.

Der Bereich Einsatzgebiet ist in groben Zügen vordefiniert, da es sich hier um einen GIS-Datenrecorder handeln soll, welcher voraussichtlich die Stadtwerke Waren GmbH im Aufbau ihres Geographischen Informationssystems (GIS) unterstützen soll.

Bei den Messgenauigkeiten sollte das Ziel einen Abgleich zwischen tatsächlicher Lage und mit GPS-Handempfängern ermittelten Koordinaten sein. Die Frage lautet: „Wie präzise lässt sich eine Leitung unter verschiedenen Messbedingungen mit GPS-Handempfängern aufmessen bzw. im Felde abstecken?“.

Bereits bei der Auswahl der zu ortenden Leitungen im Kapitel 5.1.2 mit den verschiedenen Ortungsgeräten war es erforderlich, verschiedene Gebiete auszuwählen, die unterschiedliche Messbedingungen für die GPS-Handempfänger bieten. Dazu wurde als

erstes Messgebiet ein offenes Feld ohne Abschattung (Abb. 6.1.2.2-1) gewählt. Im zweiten Gebiet (Abb. 6.1.2.2-2) herrschten Mischbedingungen mit nicht ganz idealen Messverhältnissen. Es gab hier eine sehr hohe Böschung und eine stromführende Oberleitung direkt über der zu ortenden Leitung. Das dritte Messfeld (Abb. 6.1.2.2-3) war durch einen starken Baumbewuchs geprägt und somit augenscheinlich mit hohen Abschattungen versehen.



Abb. 6.1.2.2-1: Nesselberg Parkanlage – freies Feld

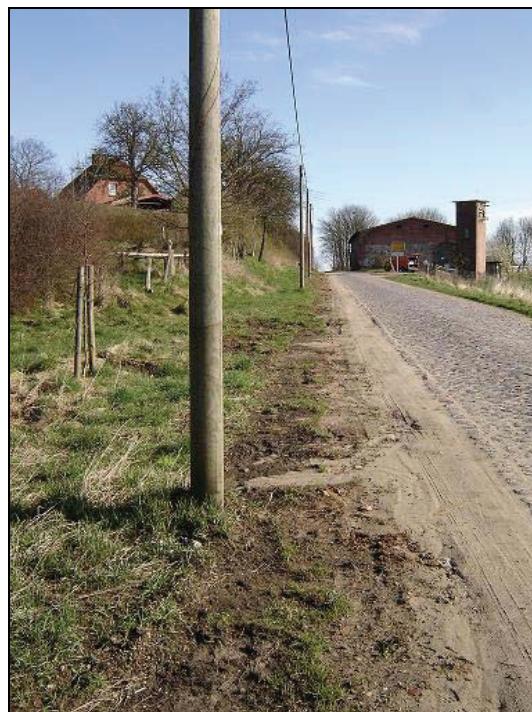


Abb. 6.1.2.2-2: Alt Falkenhagen – mittlere Abschattung



Abb. 6.1.2.2-3: Nesselberg Waldweg – hohe Abschattung

Ein weiteres Kriterium ist es, das Ziel der Diplomarbeit vorab eindeutig zu klären. Unterschieden soll hierbei zwischen erreichbarer innerer Messgenauigkeit der satellitengestützten Messsysteme und der tatsächlichen Lageabweichung zur Versorgungsleitung. Wichtig ist zu sagen, dass nicht volles Gewicht in die Prüfung der inneren Messgenauigkeit der Handempfänger gelegt werden soll, da sie durch vorherige Untersuchungen anderer Fachkräfte der Vermessung bereits hinreichend erfolgte. Vielmehr soll die tatsächliche Lageabweichung zum Sollobjekt ermittelt werden, um zu untersuchen, inwieweit die Handempfänger auf Grund der Genauigkeit ihrer erfassten Daten eine spätere Anwendung finden können. Da es sich bei der späteren eventuellen Anwendung der Messtechnik in den Stadtwerken nicht zwingend um die Bestimmung einzelner Punktkoordinaten handelt, sondern eher um das Erfassen ganzer Leitungen, wird sich das Ermitteln der Lageabweichung auch auf längere Teilstücke einer Leitung beziehen. Weniger werden einzelne Punkte in ihrer Abweichung bestimmt, sondern mehrere Punkte einer Leitung, woraus sich dann die durchschnittliche Abweichung eines größeren Objektes ermitteln lässt. Durch entsprechende Probemessungen wird jedoch eine Messprozedur (Kapitel 6.3.2.1) festgelegt, welche eine Aussage über das Gleichgewicht zwischen zeitlichem Aufwand, guter innerer Genauigkeit und Zuverlässigkeit der gesammelten Daten treffen soll.

Am Ende der Betrachtungen wird schriftlich festgehalten, unter welchen örtlichen Gegebenheiten (Abschattungsgraden) und unter Verwendung welcher Messprozedur, welche Lagegenauigkeit im Post-Processing sowie in der Echtzeitmessung erreicht werden kann. Diese soll dann richtungsweisend für die Wahl eines GPS-Systems sein, um die anfallenden Aufgaben der Stadtwerke Waren, wie z.B. zum Aufbau eines GIS-Systems oder zur Unterstützung der vorhandenen Ortungsgeräten, zu erfüllen.

## 6.2 Empfängerwahl

Inzwischen hat sich der Anwendungsbereich von GPS und GLONASS sehr groß und vielseitig entwickelt. Demzufolge wird auch ein Angebot an Empfängern unterschiedlichster Preis- und Genauigkeitsklassen dargeboten.

Ein Satellitenpositionierungssystem besteht im Groben aus der Antenne, dem Empfänger und dem Controller. Zum Empfang der Satellitensignale dient die Antenne. Der Empfänger hingegen muss nun die einzelnen Signale den jeweiligen Satelliten zuordnen, damit unter Verwendung der PRN-Codes oder der Trägerphasen Entfernung zu den einzelnen Satelliten berechnet werden können. Zur Bedienung des Empfängers dient der Controller.

Wie schon erwähnt, werden die GPS-Empfänger in Einfrequenz- und Zweifrequenz-Empfänger unterschieden. Weiterhin unterscheidet man nach der Art der Signalverarbeitung in sequentielle-, Mehrkanal- und Multiplexempfänger, wobei das Gros der heute im Handel erhältlichen Empfänger zu den Mehrkanalempfängern gehört.

Die bei meinen Testmessungen eingesetzten GPS-Handempfänger sind Einfrequenz-Empfänger. Dabei werden Phasenmessungen zur Glättung der Codebeobachtungen (siehe Kapitel 3.9.1) ausgeführt.

Im Vorfeld galt es nun, die Firmen herauszufiltern, welche einen solchen GIS-Datenrecorder auf Basis eines GPS-Handempfängers anbieten. Hierbei kristallisierten sich der GeoXH von Trimble, der GMS-2 von Topcon und der MobileMapperCX von Magellan heraus. Der GS20 von Leica wurde zwar erst von mir in Erwägung gezogen, jedoch stellte sich nach einem Gespräch mit einem Vertriebspartner, dass dieser Empfänger nicht mehr weiterentwickelt wird. Weitere Geräte wie z.B. von der Firma Garmin stellten sich eher als gute Wanderhilfen dar, aufgrund ihrer unzulänglichen Genauigkeitsangaben aus jeweiligen Datenblättern.

Da die Aufnahme der georteten Leitungspunkte mit Instrumenten der Firma Trimble erfolgte, sollte auch als erstes der GeoXH untersucht werden.

## 6.3 GeoXH von Trimble

Der GeoXH von Trimble (Abb. 6.3) ist ein Handempfänger in dem GPS-Empfänger und Antenne integriert sind. Als Betriebssystem kommt Microsoft® Windows Mobile® 5.0 zum Einsatz und als GIS-Applikation ist TerraSync™ vorhanden. Auch das Speichern von Grafikdateien ist durch den internen Flash-Speicher möglich.



Abb. 6.3: Trimble GeoXH

Mittels einer berührungsempfindlichen Anzeige (Touchscreen) erfolgen die farbliche Darstellung und zugleich die Bedienung der einzelnen Menüs. Über eine Bluetooth-Schnittstelle kann ein Mobiltelefon als Modem, für die Übertragung der Korrekturdaten, angeschlossen werden. Für die Datenübertragung via USB (*Universal Serial Bus*) und zum Wiederaufladen des internen Akkus dient die vorhandene Ladestation.

Technische Daten Trimble GeoXH	
<b>Empfänger</b>	L1-Codemessung, trägerphasengeglättete C/A-Code-Messungen
<b>Anzahl der Kanäle</b>	12
<b>Echtzeit-Genauigkeit</b>	Submeter-Bereich
<b>Post-Processing-Genauigkeit</b>	30 cm
<b>Übertragungsprotokoll</b>	NMEA, TSIP
<b>Echtzeit-Korrekturdatenprotokoll</b>	RTCM
<b>Größe (H x B x T)</b>	21,5 cm x 9,9 cm x 7,7 cm
<b>Gewicht</b>	0,78 kg mit Akku
<b>Betriebstemperatur</b>	-10°C bis +50°C
<b>Display</b>	240 x 320 Pixel TFT, 65.536 Farben
<b>Bedienung</b>	Touchscreen, 11 Tasten
<b>Stoßfestigkeit</b>	Spritzwasser-, Staub-, Aufprall- und Vibrationsschutz
<b>Speicher</b>	64 MB RAM, 512 MB interner Flash-Speicher und SD-Speicherkarte
<b>Preis (GeoXH und „TerraSync“)</b>	ca. 7.000,- €

Tab. 6.3: Technische Daten Trimble GeoXH [trimble08]

### 6.3.1 Vorbereitung

Vor Beginn der Messung war es erforderlich, einige Sachen zwecks Datenfluss, Auswertemöglichkeit und Messgenauigkeit zu klären. In Anbetracht, dass die vorhandenen Koordinaten der gewählten Leitungen sich im S42/83 GK befinden, musste eine Möglichkeit gefunden werden, die mit dem GeoXH ermittelten WGS84 Koordinaten umzuformen. Zu dem Handempfänger stellt die Firma Trimble eine Software namens „Pathfinder“ zur Verfügung. In diesem Programm können die gesammelten Rohdaten (Koordinaten und Merkmale) mittels Transferprogramm eingelesen und verarbeitet werden. Auch eine Umformung in ein anderes Koordinatensystem ist durch eine örtliche Anpassung möglich. Um eine Gauß-Krüger-Koordinate zu erhalten, wurde die Transformation „GPS-Kalibrierung“ hinterlegt, welche bereits bei der Erfassung der Ortungspunkte zum Einsatz kam. Auf diesem Wege war es möglich aus der WGS84-Koordinate eine kartesische S42/83 GK-Koordinate zu erhalten. Diese konnte dann problemlos für den Abgleich mit den vorhandenen Koordinaten genutzt werden, indem sie im DXF (*Drawing Interchange Format*) ausgelesen und in ein dafür bereit stehendes Rechenprogramm (VPR) eingelesen wurde. Der Rückweg von dem GIS über das Rechenprogramm zum „Pathfinder“ bis hin auf den GeoXH gestaltete sich etwas komplizierter. Dieser Weg muss bei einer Absteckung mittels GeoXH verfolgt werden. Als erstes werden die Koordinaten aus dem GIS entnommen. Das Bezugssystem ist wie erwähnt S42/83 GK. Erstellt wird diese Datei im Shape-Format. Um nun eine WGS84-Koordinate zu erhalten, muss eine Transformation erfolgen. Da der „Pathfinder“ diese Funktion nicht bietet, sondern lediglich eine örtliche Umformung durch eine Transformation wie z.B. die „GPS-Kalibrierung“ oder Passpunkte, wird die Shape-Datei in einem Programm namens TRAFO eingelesen. Dieses Programm wurde vom LAIV in Schwerin entwickelt und zur Verfügung gestellt. TRAFO ermöglicht Koordinaten verschiedener Systeme ineinander umzuwandeln und unterstützt dabei eine Vielzahl an Datenformaten. DXF, TXT, Shape, ASCII um nur einige zu nennen. Bei der Transformation entstand eine Lageabweichung der Koordinaten von  $\pm 2$  cm. Dieser Fehler beinhaltet die Genauigkeit der Transformation über das Benutzerfestpunktfeld.

Nachdem das Programm aus der S42/83 GK- eine WGS84-Koordinate gewandelt hat, kann die so geänderte Shape-Datei in den „Pathfinder“ importiert werden. Der Weg vom „Pathfinder“ zum GeoXH erfolgte via USB-Kabel und Datentransferprogramm.

Nach Klärung des Datenflusses und der Aufbereitungsmöglichkeit der Koordinaten für den Abgleich mit den vorhandenen Werten sollte eine Aussage zur Handhabung des GeoXH erarbeitet werden. Hier war nicht zwingend der Umgang mit dem Gerät zu klären, sondern bei welcher Messmethode die zuverlässigsten und genauesten Ergebnisse in einem angemessenen Zeitrahmen zu erzielen sind.

### 6.3.2 Aufnahme im Post-Processing

Grundprinzip ist es hierbei, mit dem GPS-Handempfänger vor Ort Rohdaten zu sammeln, diese dann je Messpunkt mit einem Merkmal zu versehen (z.B. Punktnummer) und dann zum „Pathfinder“ zu übertragen. Dort erfolgt dann die Auswertung über Post-Processing.

Dazu wird die Felddatei zu einer Referenzstation via Internet gesandt. Der bei den Rohdaten erfasste Zeitstempel wird mit übertragen. Dieses dient der Station dann als Anhaltspunkt, die Korrekturdaten rückwirkend für den Zeitpunkt der Messung zu ermitteln und sie per Internet zum „Pathfinder“ zurückzusenden. Dort erfolgt dann die rechnerische Auswertung der Felddatei und man erhält eine korrigierte Datei, die dann zur Weiterverarbeitung bereit steht. Zur rechnerischen Auswertung gehören das Anbringen der Korrekturdaten sowie die Mittlung der gemessenen Positionen je aufgenommenen Punkt. Die Korrekturdaten werden von der Referenzstation 24 Stunden nach der Messung bereitgestellt. Je größer die Zeitspanne zwischen Messung und Korrektur ist, umso genauer werden die von der Station erhaltenen Korrekturdaten. Fließen über einen längeren Zeitpunkt Messdaten in das Referenznetz, zu der die verwendete Referenzstation gehört, umso genauer können aus diesen Werten Korrekturen ermittelt werden. Die Zeitoption mit den 24 Stunden nach Messende ist eine Sicherheitsschranke, welche sich zu Gunsten der Genauigkeit nicht umgehen lässt. Anzumerken ist dabei, dass die Referenzstation so dicht wie möglich am Messgebiet liegen sollte und einen hohen Integritätsindex aufweist. Der Integritätsindex kann außer durch die Empfängerqualität der Referenzstation auch durch Fehlfunktionen der Station beeinträchtigt werden. Beim Auswerten der Rohdaten im „Pathfinder“ kann die Liste der Stationen nach Belieben aktualisiert werden. Sie werden dann geordnet nach Entfernung zum Messgebiet aufgelistet, sodass man problemlos die günstigste Position auswählen kann. Die für meine Messung relevante Referenzstation ist Potsdam.

Parallel zur Auswertung erhält man einen Bericht über die innere Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messung. Die Protokolle werden der Auswertung der Messergebnisse hinzugefügt.

### 6.3.2.1 Planung der Beobachtungszeit je Punkt

Nun stellte sich die Frage, wie viele Positionen je Messpunkt vor Ort gemessen werden müssen, um eine gute Genauigkeit und hohe Zuverlässigkeit der Lagekoordinaten in einem angemessenen Zeitraum zu erreichen. Durch Probemessungen und deren anschließender Auswertung hat sich dafür eine Punktbestimmung mit 10 Positionen ergeben. Zu jeder Position werden 5 Sekunden lang Daten gesammelt, das heißt bei der Bestimmung von zehn Positionen beträgt die Beobachtungszeit pro Punkt 50 Sekunden. Die Positionen werden nacheinander gemessen. Bei der Auswertung via Post-Processing werden alle Positionen mit dem Korrekturwert versehen und am Ende zu einer Position gemittelt. Das hat den Nachteil, dass auch die Position oder Positionen in die Wertung fallen, die schlechte Parameter, wie hohe DOP-Werte oder RMS haben. Dadurch wird die Gesamtgenauigkeit des Ergebnisses verschlechtert. Leider ist es nicht möglich die einzelnen Positionen zu eliminieren oder einen Toleranzbereich direkt bei der Messung zu setzen, sowie es beim Rover 5800 durchführbar ist.

Auch wenn einzelne schlechte Messwerte das Ergebnis verzerren, ist es angebracht mehrere Positionen je Punkt zu messen. Es steigert zwar nicht die Genauigkeit, aber in jedem Falle die Zuverlässigkeit. Getestet wurden Messungen mit 5, 10 und 20 Positionen je Punkt. Dazu wurde ein Messgebiet gewählt mit guten Bedingungen, das heißt ohne

augenscheinliche Störquellen wie Bäume, Häuser oder Hochspannungsleitungen. Die Messungen wurden zeitnah vorgenommen um ähnliche Satellitenkonstellationen nutzen zu können. Um Vergleichswerte zu den Lageabweichungen zur Sollkoordinate zu schaffen, wurde in diesem Messgebiet eine Wasserleitung mit 10 Punkten abgesteckt. Abgesteckt wurde mit der Totalstation von Trimble und die Punkte mit Tagesmarken markiert. Hierfür kamen die im Vorfeld gelegten Aufnahmepunkte zum Einsatz, welche schon für die Aufmessung der georteten Leitungspunkte dienten.

Im nächsten Schritt wurden mit Hilfe eines Tachystabs mit integrierter Dosenlibelle und dem Handempfänger die zuvor abgesteckten Punkte der Reihe nach aufgehalten. Auf den Tachystab wurde so genau wie möglich der GPS-Handempfänger gehalten und die einzelnen Positionen gemessen. Der Tachystab ermöglicht es, den GPS-Empfänger mit einer konstanten Antennenhöhe senkrecht über jedem Punkt zu positionieren.

Die gesammelten Daten wurden in den „Pathfinder“ übertragen und nach 24 Stunden mit Hilfe der Station in Potsdam via Post-Processing korrigiert. Der Vergleich der drei Korrekturberichte (Tab. 6.3.2.1) für die 5,10 und 20 Positionen führte zu einem eindeutigen Ergebnis. Die direkten Lageabweichungen zu den vorhandenen Koordinaten waren in allen drei Fällen nahezu gleich groß. Im Mittel lagen die Abweichungen zwischen 30 und 40 cm. Die Protokolle, welche auf der CD in Anlage B beiliegen, geben einen prozentualen Aufschluss über die erreichbare innere Genauigkeit und somit über die Zuverlässigkeit der Gesamtmessung aller zehn Leitungspunkte je Durchgang.

<b>5 Positionen</b>		<b>10 Positionen</b>		<b>20 Positionen</b>	
<i>Die geschätzte Genauigkeit von 50 der korrigierten Positionen beträgt:</i>		<i>Die geschätzte Genauigkeit von 100 der korrigierten Positionen beträgt:</i>		<i>Die geschätzte Genauigkeit von 200 der korrigierten Positionen beträgt:</i>	
Bereich	Prozentsatz	Bereich	Prozentsatz	Bereich	Prozentsatz
0-15cm	-	0-15cm	80.0%	0-15cm	90.0%
15-30cm	100.0%	15-30cm	20.0%	15-30cm	10.0%
30-50cm	-	30-50cm	-	30-50cm	-
0.5-1m	-	0.5-1m	-	0.5-1m	-
1-2m	-	1-2m	-	1-2m	-
2-5m	-	2-5m	-	2-5m	-
>5m	-	>5m	-	>5m	-

Tab. 6.3.2.1: Prozentualer Aufschluss über die erreichbare Genauigkeit

Da die Prozentangaben nicht unbedingt Auskunft über die Lagedifferenz zur Sollkoordinate geben, sondern nur ein Parameter für die Zuverlässigkeit und innere Messgenauigkeit sind, sollte in jedem Fall der Zeitfaktor in Betracht gezogen werden. Sind es bei 5 Positionen 25 Sekunden Beobachtungszeit, erhöht sich die Messdauer bei 10 Positionen auf 50 Sekunden und bei 20 Positionen bis auf 1 Minute und 40 Sekunden. Da die Messung eines Punktes zwar genau und zuverlässig sein muss, aber in einem angemessenen Zeitrahmen stattfinden sollte, fällt meine Wahl auf das Messen von 10 Positionen. Hier ist das Verhältnis zwischen erreichter Lagegenauigkeit, Zuverlässigkeit und Zeit optimal.

---

Das Protokoll der Korrektur fürs Post-Processing gibt letztendlich eine Auskunft über die innere Zuverlässigkeit und Genauigkeit der ermittelten Punktkoordinaten, sagt aber nichts über die Lageabweichung zur Sollkoordinate aus.

Die prozentualen Angaben im cm-Bereich 0 bis 15, 15 bis 30 etc. geben an, in welchem Radius sich die ermittelten 10 Positionen pro Punkt und Session zueinander befinden. Je kleiner die Angabe, umso dichter liegen die 10 einzelnen Positionen zusammen, was wiederum Aufschluss über die innere Messgenauigkeit gibt. Die Prozente geben die Anzahl der gesamten Messung für alle Punkte an, in welchem Radius sich die gemittelten Positionen befinden. Je größer die Prozentangabe für den kleinsten Bereich der internen Punktabweichung ist, umso zuverlässiger ist die Genauigkeitsangabe der gesamten Messungen für alle Positionen.

Im Gegensatz zum Zweifrequenz-Empfänger kann beim Messen im Felde dieser Radius nicht beeinflusst werden. Dieser Radius ist mit einem Toleranzbereich gleichzusetzen. Während im Zweifrequenz-Empfänger dieser Toleranzbereich gesetzt werden kann und dadurch alle Positionen, die über diesen Bereich hinausragen eliminiert werden, ist dies bei dem Handempfänger nicht möglich. Das Ergebnis der Messung erhält man nur nach der Korrektur über das Protokoll. Die begrenzte Einflussnahme auf den Toleranzbereich lässt die Gestaltung der Auswertung sehr starr und nachteilig werden.

Die tatsächliche Lageabweichung zur Sollkoordinate erhält man nur durch den direkten Vergleich der gemessenen Istkoordinate und dem gegebenen Sollwert der Leitung oder des Objekts. Daher gilt es, die Istkoordinate so genau als möglich zu bestimmen, um nicht zusätzliche Fehler aufzubauen.

Die vorherige Klärung der einzelnen Arbeitsschritte, wie Datenfluss, Auswertemöglichkeit und Beobachtungsdauer sicherten einen reibungslosen Messablauf für die folgenden Untersuchungen.

Zum Festlegen der Messprozedur gehören nicht nur die Bestimmung der Anzahl der zu messenden Positionen, sondern das Eingeben der Antennenhöhe sowie das Setzen der Elevationsmaske. Die Höhe richtete sich nach Länge des Tachystabs (1,30 m) und die Elevationsmaske wurde mit 10 Grad festgelegt. Ein Toleranzbereich für den P-DOP, welcher sich aus horizontaler- und vertikaler Lagegenauigkeit (H-DOP, V-DOP) ergibt, sollte ebenfalls nicht vergessen werden. Ein Wert von 6 für einen Einfrequenz-Empfänger ist zu empfehlen. Auf Grund der besseren Leistung und anderer Auswertemöglichkeiten wird der P-DOP bei Zweifrequenz-Empfängern auf 2 gesetzt.

### 6.3.2.2 Messablauf

Begonnen wurde wieder mit der Leitung in Alt Falkenhagen, jenem Gebiet mit den nicht ganz idealen Bedingungen, gekennzeichnet durch die Böschung und der vorhandenen Oberleitung. Um die unterirdische Leitung an der Erdoberfläche kenntlich zu machen, wurde das Objekt vorab mit 10 Punkten mittels Tachymeter abgesteckt und mit Tagesmarken versehen. Die Basis für die Absteckung waren wiederum die im Vorfeld bei der Leitungsortung mit dem Zweifrequenz-Empfänger bestimmten AP-Punkte. Die Absteckung

ist mit einer Genauigkeit von 2 cm vorgenommen worden, um nicht schon Lagefehler vor der Messung mit dem GeoXH zu erhalten. Nach Kennzeichnung der Punkte konnte der GeoXH gestartet werden. Analog der Probemessung zum Bestimmen der Positionsanzahl kam der Tachystab mit integrierter Dosenlibelle zum Einsatz. Der Handempfänger wurde wieder so genau wie möglich auf dem Tachystab gehalten und 10 Positionen je Punkt gemessen. Die Antennenhöhe sowie die Elevationsmaske werden zu Beginn einer Messung im Handempfänger manuell eingegeben. Zu jedem gemessenen Punkt wurde ein Merkmal in Form einer Punktnummer im Gerät gesetzt und gespeichert. Das Merkmal kann auch eine Objektbezeichnung wie Stein, Leitung, Schacht etc. enthalten. Beim Messen standen im Durchschnitt 5 Satelliten, die zur Lösung beitrugen, zur Verfügung. Das GPS-Signal zum Erreichen der Lösung ging dreimal während der Messung auf Grund von hoher Abschattung verloren. Die gesammelten Rohdaten wurden im Anschluss zum Programm „Pathfinder“ exportiert.

Nun folgte die Messung in den anderen Gebieten mit sehr guten und schlechten Bedingungen. Da beide Leitungen nahe beieinander liegen, konnte parallel gearbeitet werden. Wiederum ging es zuerst darum, die Absteckung der Leitungen über die Nutzung des AP-Dreiecks vorzunehmen. Im Gebiet mit dem starken Baumbewuchs wurde die Leitung mit fünf Punkten markiert. Beim Gebiet mit den optimalen Bedingungen kamen die zehn Leitungspunkte zum Einsatz, welche für die Probemessungen zur Bestimmung der Messprozedur genutzt wurden. Da die Punkte noch durch Tagesmarken kenntlich waren, reichte in diesem Fall eine Überprüfung der Marken.

Der Messablauf war dem in Alt Falkenhagen gleichzusetzen. Je Punkt 10 Positionen, addiert mit dem Merkmal als Punktnummer und der Nutzung des Tachystabs mit Dosenlibelle. Je nach Leitung und Messbedingung unterteilten sich der Ablauf und die Speicherung in zwei Projekte mit unterschiedlichen Namen. Zum einen Nesselberg Park, zum anderen Nesselberg Waldweg. Dieses diente der besseren Übersicht und Auswertemöglichkeit. Die unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten waren deutlich im Messablauf zu spüren. Während die Messung reibungslos bei den optimalen Bedingungen ohne Abschattung ablief (kein GPS-Signalverlust), kam es bei der ausgeprägten Abschattung zu extremen Schwierigkeiten beim Messvorgang. Bei optimalen Gegebenheiten standen im Durchschnitt 6 Satelliten bereit, auf der anderen Seite waren es im Durchschnitt 4 Satelliten. Das GPS-Signal ging sehr häufig verloren, so dass große Schwierigkeiten beim Messen der 10 Positionen pro Punkt entstanden. Diese machten sich auch in der späteren Auswertung im Punkt Genauigkeit bemerkbar. Die Rohdaten der beiden Projekte wurden ebenfalls zum Auswerten in dem Programm „Pathfinder“ eingelesen.

### 6.3.2.3 Auswertung der Messergebnisse

Bei der Auswertung der Messergebnisse ist ersichtlich geworden, aus welchen Gründen die Rohdaten mit einer Korrektur versehen werden müssen. Lageabweichungen zwischen 20 cm bis hin zu 4,00 m sind die Regel. Im Durchschnitt haben die unkorrigierten Werte ca. 1,70 m

Lageabweichung zum Sollpunkt. Bei unkorrigierten Daten handelt es sich bestenfalls um eine Navigationslösung.

	Aufnahme - Post-Processing - GeoXH		
	Nesselberg Park	Alt Falkenhagen	Nesselberg Waldweg
	niedrige Abschattung	mittlere Abschattung	hohe Abschattung
	Lage [m]	Lage [m]	Lage [m]
durchschnittl. Abweichung	0,40	0,57	1,60
größte Abweichung	0,58	0,75	4,39
Standard-abweichung	0,44	0,61	2,38

Tab. 6.3.2.3: Abweichungen zu den Sollwerten – GeoXH – Post-Processing

Die Ergebnisse, für die über Post-Processing bereinigten Daten, sind unter den gegebenen Voraussetzungen als gut einzuschätzen. Werte zwischen 40 und 60 cm Lagegenauigkeit (siehe Tabelle 6.3.2.3) sind für einen Handempfänger durchaus akzeptabel. Um dies zu erreichen, sind wie beschrieben diverse Voraussetzungen zu erfüllen und Messprozeduren einzuhalten. Betrachtet man die drei verschiedenen Messbedingungen, werden die Unterschiede deutlich klar. Freies Feld bedeutet im Vergleich eine sehr gute Genauigkeit, Zuverlässigkeit und einen reibungslosen Messablauf beim Sammeln der Rohdaten. Es gab keine Unterbrechung des GPS-Signals. Alle gemessenen Werte liegen im Mittel bei 40 cm Lagedifferenz. Kommen diverse Störungen durch örtliche Gegebenheiten hinzu, so wie die Oberleitung und die hohe Böschung, lassen Genauigkeit und Zuverlässigkeit nach. Ein nahtloser Messablauf ist durch Unterbrechungen der GPS-Signale auf Grund der Abschattungen auch nicht selbstverständlich. Die Lagedifferenzen betragen hier schon im Mittel 60 cm.

Ist das Messgebiet durch starke Bebauung oder Baumbewuchs geprägt, ist eine Messung definitiv nicht mehr möglich. Lageabweichungen bis zu 4,40 m und Lagedifferenzen im Mittel von 1,60 m lassen keine Option für etwaige Verwendungen offen.

Nun liegt es also im Ermessen des Beobachters, die örtliche Beschaffenheit kritisch zu betrachten und abzuwagen mit welcher geschätzten Genauigkeit eine Messung vollzogen werden kann und wann sogar eine Beobachtung abgebrochen werden muss oder von Anfang an nicht möglich ist.

Ein Vorschlag bei der Einarbeitung der Punkte bzw. Leitungen in das GIS wäre eine Gewichtung nach Lagegenauigkeit (LG) und Lagezuverlässigkeit (LZ) vorzunehmen. Diese Vergabe von LG und LZ könnte in einem geeigneten System erstellt werden und müsste vor Ort vom Beobachter vergeben werden.

Eine weitere Voraussetzung ist die korrekte Auswertung am PC. Die richtige Wahl der Referenzstation (Potsdam) beim Post-Processing ist schon entscheidend. Ebenfalls die Verwendung einer örtlichen Anpassung (GPS-Transformation) beim Wandeln der Koordinaten von WGS84 in S42/83 GK sollte beachtet werden, da diese auf Grund der territorialen Anpassung das Ergebnis positiv in der Genauigkeit beeinflusst. Bei einer guten ortsnahen Transformation lassen sich ca. 30 cm gegenüber einer bundeslandweiten Transformation in der Lage verbessern. Nur so können, wie in meinem Fall, Werte zwischen

40 und 60 cm erreichen werden. Ohne die örtliche Anpassung fände sich die Abweichung im Submeterbereich wieder. Hieraus wird ersichtlich, welche Bedeutung eine Transformation in Bezug auf die Lage hat.

Ein nächster Punkt ist die Einhaltung der gemessenen Positionen pro Punkt. Um die Zuverlässigkeit gewähren zu können, sollen wenigsten 10 Positionen je Session und Punkt gemessen werden. Zur Messprozedur gehören ebenfalls die korrekte Einstellung der Elevationsmaske, der Antennenhöhe und der maximale P-DOP Wert am Messgerät selbst. Werden alle Voraussetzungen eingehalten und die Umgebung kritisch vom Beobachter bewertet, sind Lageabweichungen, wie in der oben aufgeführten Tabelle, zu erreichen.

### 6.3.3 Absteckung in Echtzeit

Da die Möglichkeit besteht mit einem Einfrequenz-Handempfänger auch in Echtzeit zu messen, sollte dies ebenfalls untersucht werden. Zu den Vorbereitungen galt es sich einen geeigneten Korrekturdienst (siehe Kapitel 3.11.3) auszusuchen und die Freischaltung des Dienstes zu beantragen. In diesem Fall entschied ich mich für den ascos-ED Dienst (30 bis 50 cm). Zur Wahl stand anderseits der SAPOS®-EPS Dienst (0,5 bis 3 m).

Als kostenfreie Alternative käme das Messen mit einem Beacon in Frage. Da diese Form des Korrekturdienstes bei weitem nicht den Genauigkeitsanforderungen der zu erfüllenden Aufgaben entspricht, wurde diese Methode nicht weiter untersucht. Lageabweichungen unter 1 m sind nicht zu erreichen.

Des Weiteren musste ein externes Modem in Form eines Handys bereitgestellt werden, mit dem die Korrekturdaten via Internet übertragen werden. Das Handy muss als Bedingung Bluetooth und GPRS (Kapitel 3.11.1) fähig sein. Dieses wurde mir von den Stadtwerken Waren zur Verfügung gestellt. Vom Referenzstationsdienst „ascos“ gab es zur Identifizierung des genutzten Handys einen Benutzernamen und ein Passwort um die Freischaltung für den ED-Dienst bei der Nutzung während der Messung zu bestätigen.

Nun galt es, eine Form zu finden, in der die Genauigkeit dieser Echtzeitmessung geprüft und dokumentiert werden konnte. Erste Option war wieder, die verschiedenen Messbedingungen festzulegen. Diese sollen sich wie zuvor nach unterschiedlichen hohen Abschattungsgraden richten. Des Weiteren sollte die Lagedifferenz zwischen einer gegebenen Sollkoordinate und einer Koordinate, resultierend aus der DGPS-Messung (siehe Kapitel 3.9.1), ermittelt werden. Das war am besten zu lösen, indem man gegebene Sollkoordinaten in Echtzeit mit dem Handempfänger im Felde absteckt und diese so markierten Punkte mit anderer Messtechnik so genau wie möglich aufmisst. Diese erhaltenen Istkoordinaten aus der DGPS-Messung können dann problemlos mit den gegebenen Sollkoordinaten in ihrer Differenz verglichen werden. Durch diese Messfolge lässt sich zusätzlich die Benutzerfreundlichkeit des Empfängers hinsichtlich seines Absteckprogramms testen.

Geeignete Testumgebungen mit unterschiedlichen Bedingungen und gegebenen Sollkoordinaten lieferten auch hier wieder die im Vorfeld ausgewählten Leitungen in Alt Falkenhagen und auf dem Nesselberg in Waren.

Der Ablaufplan sollte sich nun so gestalten, dass bestimmte Punkte der einzelnen Leitungen mit dem GeoXH in Echtzeit vor Ort abgesteckt werden, diese dann mit der Totalstation von

Trimble über die vorhandenen Aufnahmepunkte aufgemessen, anschließend ausgewertet und verglichen werden. Nach Festlegen des Messablaufs galt es, den Handempfänger für die bevorstehende Messung vorzubereiten. Als erstes musste die Verbindung zwischen GeoXH und dem Handy via Bluetooth eingerichtet werden. Über ein Scan-Programm des Handempfängers und bei eingeschaltetem Bluetoothmodus des Handys lies sich die Kopplung der Geräte einleiten. Über die Eingabe eines erdachten Pins konnte nun das Handy mit eigenem Namen im GeoXH registriert werden. Durch die Registrierung entfällt dieser Arbeitsschritt des Scanners für alle weiteren Anwendungen des Handempfängers in Zusammenarbeit mit diesem Handy. Einige Grundeinstellungen im Handempfänger, wie Steuerbefehle des Handys, Modemeinstellungen sowie Baudaten wurden mit Hilfe der Vertriebsfirma des Trimble GeoXH vorgenommen. Die Konfiguration für Echtzeitmessungen im direkten Messprogramm „TerraSync“ des GeoXH wurde durch Eigenarbeit eingerichtet. Dazu musste die Internetadresse vom ascos-Dienst eingegeben werden, die Verbindungsart (via Internet), die Portnummer sowie den Server des ED-Dienstes und zur Registrierung der Benutzername und das Passwort, welche vorab von „ascos“ zur Freischaltung herausgegeben wurden. Nach einem kurzen erfolgreichen Testlauf der Korrekturdatenübertragung konnte die eigentliche Messung beginnen.

### 6.3.3.1 Messablauf

Zum Anfang jeder Absteckung von koordinatenmäßig bekannten Punkten in der Örtlichkeit müssen die Daten aus einer gegebenen Datenbank selektiert werden. In meinem Messversuch wurden insgesamt 25 Punkte der verschiedenen Leitungen in Alt Falkenhagen und auf dem Nesselberg in Waren herausgefiltert. Hierzu wurde eine Shape-Datei erstellt, welche die Punkte im S42/83 GK enthielt. Da der GeoXH mit WGS84-Koordinaten misst, wurde die Shape-Datei in das TRAFO-Programm eingelesen und vom S42/83 GK in WGS84 transformiert. Diese gewandelte Datei konnte nun in das „Pathfinder“-Programm des Handempfängers importiert werden. Die Punkte wurden auf ihren vollständigen Import über die Kartenfunktion des Programms optisch überprüft. Per USB-Anschluss und dem enthaltenen Datentransferprogramm in „Pathfinder“ wurden die Daten in den GeoXH übertragen und standen dort zur Absteckung im Felde zur Verfügung.

Die erste Absteckung in Echtzeit sollte in Alt Falkenhagen stattfinden. 10 Punkte dieser dort befindlichen Leitung waren das Ziel der Absteckung. Die Messbedingungen zeichneten sich durch einen mittleren Grad der Abschattung, eine hohe Böschung und eine Oberleitung aus. Zunächst galt es das Handy mit seinen Grundeinstellungen einzurichten. Dazu gehörte die Aktivierung der Verbindungsarten Bluetooth und GPRS. Im Handempfänger ist der Internet Explorer zu öffnen und eine beliebige Internetadresse einzugeben. Durch diesen Befehl baut der Handempfänger die Bluetooth-Verbindung auf und startet die Internetverbindung über das Handy als externes Modem. Die Internetverbindung muss zwingend im Vorfeld aufgebaut werden, da es nicht möglich ist die Verbindung manuell aus dem GPS-Messprogramm zu starten. Dort ist, wie bereits beschrieben, nur der Benutzername, Passwort und Zugangsadresse des jeweiligen Korrekturdienstes hinterlegt.

Nach Aufbau der Verbindung zwischen Handy und dem GeoXH wird die GPS-Verbindung gestartet. Durch die Änderung der Konfiguration im „TerraSync“ in Richtung Echtzeitmessung wird nun entgegen der Messung im Post-Processing ein Button mit „Externer Quelle“ angeboten. Dahinter verbirgt sich das Handy als externes Modem inklusive aller Echtzeiteinstellungen zur Übertragung der Korrekturdaten. Hat der GPS-Empfänger seine Navigationslösung nach Empfang des Almanachs (Kapitel 3.4.4.3) erreicht, wird manuell die „Externe Quelle“ über den Button hinzugeschaltet. Das Modem wählt sich nun über die hinterlegte Internetadresse des ascos-ED Dienstes in den Korrekturdienst ein. Nach ca. 30 bis 40 Sekunden stehen dann die Daten zur Verfügung, welches im Display des GeoXH grafisch angezeigt wird. Die erreichte Navigationslösung änderte sich in eine korrigierte Echtzeitposition mit wesentlich besserer Genauigkeit. Über das angelegte Projekt mit den erhaltenen Daten aus dem Innendienst wurde nun Punkt für Punkt in das Absteckprogramm des Handempfängers geladen. Jeder einzelne Punkt konnte so über die Navigationsgrafik abgesteckt und durch eine Tagesmarke gekennzeichnet werden. Bei der Absteckung ist immer darauf zu achten, dass die Internetverbindung aufrecht erhalten bleibt, da sonst die Messgenauigkeit rapide herabsinkt. Werte von ca. 30 cm auf bis zu 3 m Abweichungen sind dann das Resultat. Nach Absteckung aller Punkte wird nun die Internetverbindung über den Button „Externe Quelle“ getrennt und der GPS-Empfänger abgeschaltet. Die Trennung der Internetverbindung ist wichtig, da wie beschrieben der Korrekturdienst kostenpflichtig ist.

Die durch Tagesmarken erkenntlich gemachten Punkte sind mittels Trimble Totalstation dann aufgenommen worden. Genutzt wurden hier wiederum die Aufnahmepunkte aus den vorherigen Messungen der Ortung und der Messung über Post-Processing. Parallel dazu stand wieder die Führung eines Feldrisses und die Vergabe von Punktnummern, um die spätere Auswertung und den Abgleich zu den Sollkoordinaten zu erleichtern. Bei der Absteckung unter Verwendung der Korrekturdaten wurde das GPS-Signal zwei Mal unterbrochen, was auf die Abschattung der hohen Böschung zurückzuführen war. Nach Änderung der Position des Handempfängers zur Böschung gelang es problemlos das GPS-Signal wieder zu erreichen.

Analog zum Messablauf in Alt Falkenhagen gestalteten sich die beiden anderen Objekte auf dem Nesselberg in Waren. Die eine Leitung beinhaltete 5 abzusteckende Punkte, die zweite Versorgungseinrichtung war mit 10 Punkten angegeben. Abgesteckt wurde auch hier in Echtzeit, die Punkte mit Tagesmarken markiert und im Anschluss mit der Trimble Totalstation über die bestehenden Aufnahmepunkte aufgemessen. Selbstredend die Führung eines Feldrisses zur Übersicht.

Die örtlich gegebenen Messbedingungen trennten den Messablauf der beiden Objekte auf dem Nesselberg zum einen positiv und zum anderen negativ. Während die eine Messung gänzlich ohne Abschattung einen stabilen GPS-Empfang und eine daraus resultierende gute Messgenauigkeit sicherte, war die zweite Messung mit Schwierigkeiten verbunden. Durch den hohen Grad an Abschattung ging das GPS-Signal häufig verloren. Dieses erschwerte in erheblichem Maße die Absteckung, da sich die Navigationsgrafik sehr in Bewegung befand. Es war nur mit Geduld und erhöhtem Zeitaufwand möglich, den Sollpunkt, der als Kreis

graphisch dargestellt ist, mit dem aktuellen Positionskreuz in der Navigationsgrafik in Übereinstimmung zu bringen. Eine schlechte innere Messgenauigkeit und hohe Abweichung zur Sollkoordinate, waren die Folge.

### 6.3.3.2 Auswertung der Messergebnisse

Beim Vergleichen der durchschnittlichen Abweichungen der drei Echtzeitmessungen (siehe Tabelle 6.3.3.2) ist aufgefallen, dass sich die Abschattung zwar negativ auf die Messergebnisse auswirken, aber nicht so klar abgrenzen wie bei der Messung im Post-Processing. Eindeutiger ist das Ergebnis bei extrem hoher Abschattung. Maximalwerte bis zu 1,60 m sind nicht akzeptabel, um vor Ort einen Punkt so abzustecken, dass dieser bedenkenlos Anwendung finden kann. Häufig kommt es zum Verlust des GPS-Signals, sodass die Messung unterbrochen wird.

Die Durchschnittswerte für die Lageabweichungen bei mittlerer Abschattung und idealen Messbedingungen unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Werte zwischen 0,40 und 0,50 m waren hier zu erreichen, wobei die Maximalabweichungen bei beiden Objekten nahezu gleichgroß sind.

	Absteckung - Echtzeit		
	Nesselberg Park	Alt Falkenhagen	Nesselberg Waldweg
	niedrige Abschattung	mittlere Abschattung	hohe Abschattung
	Lage [m]	Lage [m]	Lage [m]
durchschnittl. Abweichung	0,45	0,48	0,68
größte Abweichung	0,51	0,68	1,63
Standard-abweichung	0,46	0,49	0,87

Tab. 6.3.3.2: Abweichungen zu den Sollwerten – GeoXH - Echtzeit

Unterschiede fallen bei der Messung an sich auf. Während bei idealen Bedingungen die Messung stabiler verlief, befand sich bei mittlerer Abschattung die Navigationsgrafik sehr in Bewegung. Das erklärt sich wie folgt. Beim Abstecken eines Punktes wird auf dem Display des Handempfängers zentralisch der abzusteckende Punkt durch einen kleinen Kreis markiert. Die Position des Empfängers gegenüber dem abzusteckenden Punkt wird mit einem Kreuz signalisiert. Bewegt man nun den Handempfänger, wandert dieses Positionskreuz je nach Richtung auf den kleinen Kreis zu oder entfernt sich. Hat man das Kreuz und den Kreis zur Deckung gebracht, sollte sich dort der vermeintliche Punkt befinden. Hält man den Empfänger einen Augenblick ruhig in der Deckungsposition, beginnt das Kreuz zu springen. Der Radius beträgt ca. 10 bis 20 cm. Je höher der Grad der Abschattung vor Ort ist, desto größer wird dieser Radius. Bei optimalen Bedingungen steht das Kreuz nahezu still. Die Bewegung führt dazu, dass nur sehr schwerlich ein präziser Punkt im Felde definiert werden kann.

Diese messtechnischen Gegebenheiten führten dazu, dass beim Objekt mit der mittleren Abschattung die Definition des abzusteckenden Punktes nur mit erhöhtem Zeitaufwand

---

realisierbar war und nicht so stabil wie bei idealen Messbedingungen verlief. Ebenfalls führte gelegentlicher GPS-Signalverlust zu weiteren Beeinträchtigungen.

Vergleicht man nun die Werte der Echtzeitmessung mit den korrigierten Werten des Post-Processing ist anzumerken, dass die Abweichungen der DGPS-Messung zum größten Teil geringer ausfallen. Dieses ist auf die Auswertemöglichkeit zurückzuführen. Wie bereits bei der Auswertung der Messergebnisse beim Post-Processing beschrieben, wird aus mehreren gemessenen Positionen eine Koordinate gemittelt, welche dann mit den Korrekturwerten verbessert wird. Hier war das Problem, dass auch schlechte Messwerte zur Auswertung hinzugezogen wurden, ohne sie eliminieren zu können. Wie erwähnt verzerren diese schlechten Messwerte das Ergebnis, hingegen die Zuverlässigkeit ansteigt.

Bei der Echtzeitmessung wird mit einer korrigierten Lösung im Felde gearbeitet. Bringt man nun beim Abstecken das Positionskreuz mit dem als Kreis markierten Punkt in der Navigationsgrafik zur Deckung, ist dies eine Sache von wenigen Sekunden. Hierbei kommt es nicht zum Sammeln mehrerer Positionen die zu einer Koordinate gemittelt werden. So können keine schlechten Messpositionen das Ergebnis verzerren. Es zählt nur der Augenblick der Absteckung. Das hat zur Folge, dass die Zuverlässigkeit bei der Echtzeitmessung geringer als beim Post-Processing ist, hingegen ist die Genauigkeit geringfügig besser. Bei idealen Messbedingungen sind die Unterschiede in den Lageabweichungen zwischen DGPS und Post-Processing nahezu ausgeglichen. Hier ist optional weniger mit schlechten Messwerten im Post-Processing zu rechnen, da wenige Störsignale die Messung beeinflussen und darum die korrigierten Koordinaten nicht verzerren. Es ist davon auszugehen, dass in diesem Fall die Messung im Post-Processing die höhere Zuverlässigkeit bietet als die der Echtzeitmessung. Auch hier gilt wie bei der Auswertung im Post-Processing, der Beobachter sollte die Messbedingungen kritisch einschätzen und die Ergebnisse eventuell je nach Bedingung unterschiedlich gewichten. Ansonsten sind die Ergebnisse für einen Einfrequenz-Empfänger in punkto Genauigkeit als positiv zu betrachten.

Anbei sei bemerkt, das beim Aufmessen in Echtzeit mit dem GeoXH ebenfalls wie beim Post-Processing die Anzahl der Positionen pro Punkt manuell festgelegt werden können. Dies ermöglicht gegebenenfalls festgelegte Messprozeduren einhalten zu können.

## Fazit

Der GeoXH von Trimble ist ein komfortables Messgerät mit dem sich unter bestimmten Voraussetzungen und unter Einhaltung gesetzter Messprozeduren gute Ergebnisse im Post-Processing erzielen lassen. Die Handhabung ist durch die Windowsoberfläche recht umgänglich und leicht beherrschbar. Die genutzte Software auf dem Empfänger „TerraSync“ vermittelt eine gute Übersichtlichkeit. Das Gerät zeichnet sich durch Robustheit und stabile Messeigenschaften aus. Es ist nur unter extrem widrigen Messbedingungen stark beeinflussbar. Hierzu gehören insbesondere starke Abschattungen durch Baumbewuchs oder Bebauungen. Bei der Einschätzung der Messbedingungen sowie der Auswertung und Transformation ins S42/83 GK sollte geschultes Fachpersonal hinzugezogen werden. Hierzu

gehört vor allem der Umgang mit der Software „Pathfinder“ und einigen benötigten Zusatzprogrammen.

Schwächen zeigt die Software „Pathfinder“ bei der Auswertung der Messdaten. Die recht starren Möglichkeiten, schlechte Messelemente zu eliminieren, trüben das Gesamtbild des Post-Processings, da es hier zu künstlichen Verschlechterungen der Messgenauigkeit führt.

Zur Echtzeitmessung sei gesagt, dass der Handempfänger GeoXH nicht zwingend dafür ausgelegt ist. Aufwendige Vorbereitungen, Einstellungen und Handhabungen erschweren ein zügiges und störungsfreies Arbeiten. Der Aufwand und die zu erreichenden Genauigkeiten stehen in keinem gesunden Verhältnis.

Ein Manko ist auch hier, wie beim Post-Processing, das punktuelle Definieren eines Messpunktes. Der Handempfänger verfügt über keinen Tachymeterstab und muss somit frei Hand über den Punkt gehalten werden. Ein geübter Nutzer wird dieses auf wenige cm arrangieren können. Ungeübte Beobachter werden über dies hinaus noch Schwierigkeiten mit der Handhabung des Gerätes aufweisen, da viele Messprogramme in entsprechender Reihenfolge Anwendung finden. Die Abfolge beim Starten der einzelnen Anwenderprogramme muss zwingend eingehalten werden, da sonst unumgänglich mit einem Systemabsturz des kompletten Programms zu rechnen ist. Man sollte sich demzufolge mit dem geforderten Ablauf auseinandersetzen und diesen verinnerlichen.

Zum Aufsuchen von Versorgungsleitungen in ländlichen Gegenden ohne schwere Bebauung und Baumbewuchs ist es für einen geschulten Nutzer ein nützlicher Begleiter. Die erreichbare Lagegenauigkeit bei der Echtzeitabsteckung würde dem Arbeiten mit Baumaschinen genüge tun. Zum Aufbau eines GIS eignet sich diese Methode, ebenso wie das Messverfahren im Post-Processing, nicht. Hier mangelt es eindeutig an den erreichbaren Genauigkeiten und an der Zuverlässigkeit des Systems.

## 6.4 GMS-2 von Topcon

Der zweite Handempfänger, welcher in meiner Versuchsreihe getestet werden soll, ist der GMS-2 von Topcon (Abb. 6.4).



Abb. 6.4: Topcon GMS-2

Das Gerät ist ebenfalls ein mobiler GIS-Empfänger mit integrierter Antenne. Er empfängt GPS- als auch GLONASS-Satelliten. Der Handempfänger basiert auf einem Windows® CE Betriebssystem. Als GIS-Software bietet Topcon „eTop+“, eine Erweiterung von „ArcPad“, an. Zur Kommunikation mit einem Handy, für den Empfang von Korrekturdaten, verfügt der GMS-2 über eine Bluetooth-Schnittstelle. Die Datenübertragung und das Laden von Grafikdateien erfolgt via USB. Zum Wiederaufladen des Akkus verfügt das Gerät über einen Netzanschluss.

Technische Daten Topcon GMS-2	
<b>Empfänger</b>	L1-Code, Träger
<b>Anzahl der Kanäle</b>	50 GPS L1 + GLONASS L1 tracking
<b>Echtzeit-Genauigkeit</b>	50 cm
<b>Post-Processing-Genauigkeit</b>	-
<b>Übertragungsprotokoll</b>	NMEA
<b>Echtzeit-Korrekturdatenprotokoll</b>	RTCM
<b>Größe (H x B x T)</b>	19,7 cm x 9,0 cm x 4,6 cm
<b>Gewicht</b>	0,7 kg mit Akku
<b>Betriebstemperatur</b>	-20°C bis +50°C
<b>Display</b>	240 x 320 Farbdisplay
<b>Bedienung</b>	Touchscreen
<b>Stoßfestigkeit</b>	Fall aus 1,0 m
<b>Speicher</b>	256 MB interner Flash-Speicher und SD-Speicherkarte
<b>Extras</b>	integrierte Digitalkamera, elektronischer Kompass
<b>Preis (GMS-2 ohne GLONASS und „ArcPad“ zzgl. „eTop+“)</b>	ca. 6.900,- €

Tab. 6.4: Technische Daten Topcon GMS-2 [topcon08]

Mit dem GMS-2 besteht die Möglichkeit mit einer digitalen Kamera Bilder zu erfassen und zu registrieren. Zusätzlich verfügt dieser Empfänger über einen elektronischen Kompass zur Orientierung im Felde.

#### 6.4.1 Vorbereitung

Zur Vorbereitung der einzelnen Messungen sollte wiederum vorab ein Ablauf festgelegt werden. Um einen Vergleich zum Trimble GeoXH ziehen zu können, mussten gleiche Messbedingungen und Auswertemöglichkeiten vorherrschen. Abermals wurden die drei Messobjekte in Alt Falkenhagen, Nesselberg Park und Nesselberg Waldweg in Waren zum Test hinzugezogen. Dieses garantierte gleiche Abschattungsbedingungen bei der Beobachtung. Gemessen werden sollte im Post-Processing sowie in Echtzeit mit dem ascos-ED Dienst.

Beim Ausloten der Fähigkeiten des Topcon Gerätes stellte sich heraus, dass dieser Empfänger im Zusammenhang mit der Software nicht Post-Processing fähig ist. Über diese Information wurde ich von Herrn Kratzenberg, ein Mitarbeiter von der Firma Topcon, in

Kenntnis gesetzt. Da es keine Möglichkeit gibt diese Messmethode anzuwenden, beschränkte sich die Untersuchung des GMS-2 allein auf die DGPS-Messung. Plan war es, alle Punkte der drei Versorgungsleitungen, wie sie beim Trimble GeoXH Anwendung fanden, in Echtzeit aufzumessen, anschließend auszuwerten und die Lageabweichungen zu ermitteln. Des Weiteren ist eine Absteckung in Echtzeit vorzunehmen, um die Handhabung des Empfängers einschätzen zu können.

Mit Hilfe des Vertreters der Firma Topcon wurden die Grundeinstellungen des Gerätes vorgenommen. Hierzu gehörten, wie beim Trimble Empfänger, die Kopplung des GMS-2 mit dem Handy via Bluetooth, sowie die Hinterlegung der Daten, wie Benutzername, Passwort, IP-Adresse und die Portnummer des „ascos“ Dienstes.

Eine weitere Vergleichsoption war die Wandlung der gemessenen WGS84-Koordinaten in das benötigte Koordinatensystem S42/83 GK. Um gleiche Grundbedingungen zu schaffen, sollte dieselbe örtliche Anpassung mit der 7- bzw. 3 Parameter Transformation zum Einsatz kommen, welche bereits für alle vorherigen Messungen agierte. Nun stand die Frage, ob direkt im Felde im S42/83 GK gemessen werden sollte oder im WGS84 mit anschließender Transformation in der Software des GMS-2. Hier tat sich das nächste Manko in diesem System auf. Die Software „ArcPad“, welche ebenfalls auf dem Empfänger als Messprogramm dient, ist nicht in der Lage, diese Transformation durchzuführen. Demzufolge gestaltete sich der Messablauf so, das im Felde im WGS84 mit Korrektur durch den ascos-ED Dienst gemessen wurde. Anschließend erfolgte die Übertragung jener WGS84-Koordinate auf den PC im Innendienst. Von dort aus als shape-Datei an die Software „Pathfinder“ des Trimble GeoXH ausgegeben, gelang dann hier die Umformung durch die hinterlegte örtliche Anpassung in das S42/83 GK. Die so erhaltenen Messdaten konnten nun zur Ermittlung der Lagedifferenzen zu den Sollwerten genutzt werden.

Nach Abschluss der Vorbereitungsmaßnahmen und einem Testlauf konnte die Arbeit im Felde beginnen.

#### 6.4.2 Messablauf

Die Feldarbeit gestaltete sich analog des Messablaufs mit dem Trimble-Empfänger. Als erstes wurde gezielt mit der Arbeit in Alt Falkenhagen begonnen. Das vorhandene AP-Netz diente wiederum als Basis um die originalen 10 Punkte der Versorgungsleitung mittels der Totalstation von Trimble abzustecken und zu markieren. Im Anschluss startete ich den Topcon-Empfänger in vorgegebener Reihenfolge. Bluetooth-Verbindung, Internetverbindung und nachfolgend das Messprogramm. Definiert wurden die aufzumessenden Punkte abermals mit Hilfe des Tachymeterstabs, welches das exakte Einhalten der Antennenhöhe mit beinhaltet. Elevationsmaske und Antennenhöhe sind selbstredend vorab unter Konfigurationen im GMS-2 gesetzt worden. Nacheinander wurden alle 10 Punkte in Echtzeit aufgemessen und gespeichert. Parallel erfolgte das Führen des Feldbuchs zur Übersicht.

Bei der Einwahl in den ascos-Dienst ist Folgendes aufgefallen. Das Gerät verfügt über die Fähigkeit GPS und GLONASS Satelliten zu tracken. Die Nutzung der GLONASS Satelliten (siehe Kapitel 4.2) hat positive Auswirkungen auf die Positionsbestimmung, da durch die Vielzahl an Satelliten bessere Raumschnitte gebildet werden können. Bei der Einwahl in den

„ascos“ Korrekturdienst, können derzeit die GLONASS Satelliten nicht für die Korrektur genutzt werden. Diese entfallen somit und können den Messablauf nicht unterstützen. Laut Auskunft der Korrekturdienstbetreiber sind derzeit Störungen bei Parametern der Satellitenbahnen gegeben. Dieses ist nach Angaben ein schwerwiegendes Problem und daher nicht zeitnah zu lösen.

Negativ zu werten ist hingegen die Grundeinstellung werkseitig über die Anzahl der zu nutzenden Satelliten bei einer Echtzeitmessung. Es müssen mindestens 6 Satelliten zur Verfügung stehen. Diese Option lässt sich leider nicht über die Konfiguration der Echtzeiteinstellungen im „eTop+“ ändern. Dieser Umstand hat einen störenden Einfluss auf den reibungslosen Messablauf. Gerade bei mittlerer Abschattung, wie sie die Umgebung in Alt Falkenhagen prägt, kommt es zu häufigen Unterbrechungen der Messung, da nicht genügend Satelliten zum Erreichen einer Lösung zur Verfügung stehen.

Ebenfalls unzulänglich, ist die Einhaltung der zuvor festgelegten Messprozedur. Die besagt, dass ein erprobtes Optimum bei 10 Positionen je Punkt angestrebt wird. Aus diesen 10 Positionen sollte dann im Mittel eine Koordinate gebildet werden. Im Gegensatz zum GeoXH, wo sich die Anzahl der Positionen im Post-Processing wie auch bei der DGPS-Messung manuell festlegen lassen, lässt sich dies Funktion nicht über das Anwenderprogramm „eTop+“ lösen.

Durch die Zeitpunktwahl der Messung zwischen 11 und 14 Uhr konnte das Problem der Satellitenanzahl umgangen werden, da in diesem Zeitraum die meisten Satelliten in hiesiger Umgebung zur Verfügung stehen. Auf die negative Konstellation der Satelliten soll bei der Auswertung etwas näher eingegangen werden.

Dem gleichen Messablauf folgend, wurden für die anderen Objekte in Waren Nesselberg Park und Nesselberg Waldweg die Daten gesammelt. Auch hier kam das bereits bestehende AP-Netz unter der Nutzung der Trimble Totalstation zum Einsatz. Wie erwartet, verlief die Messung bei optimalen Messbedingungen (Nesselberg Park) reibungslos, hingegen beim dritten Objekt (Nesselberg Waldweg) die Messung stark unter der hohen Abschattung zu leiden hatte. Teilweise kam die Messung komplett zum Erliegen.

Eine weitere Schwäche war, wie sie in Alt Falkenhagen bereits aufgefallen ist, dass keine Möglichkeit bestand, zum jeweils gemessenen Punkt manuell ein Merkmal setzen zu können. Somit war ich nicht in der Lage, den gesammelten Daten eine Punktnummer zu vergeben. Da auch bei diesen beiden Messungen ein Feldbuch geführt wurde, erfolgte daher eine schriftliche Notiz der Punktnummern.

Um nun die Benutzerfreundlichkeit zu testen und etwas Gefühl für den Empfänger zu bekommen, erfolgte noch die Echtzeitabsteckung der Versorgungsleitung Nesselberg Park. Bei der Absteckung wurden im Vorfeld die abzusteckenden Punkte als shape-File auf das Gerät über das Transferprogramm eTopSync per USB-Kabel übertragen. Mittels der Navigationsgrafik wurden die Punkte vor Ort abgesteckt und markiert. Die markierten Punkte, resultierend aus der Absteckung, wurden wiederum mit der Totalstation von Trimble aufgemessen, um sie einer späteren Auswertung zu unterziehen. Anzumerken ist noch, dass die Absteckung der Punkte im WGS84 erfolgte. Der übertragene shape-File wurde vorab aus der Datenbank im S42/83 GK selektiert und mit dem Programm TRAFO in WGS84 transformiert.

### 6.4.3 Auswertung der Messergebnisse

Bei der Betrachtung der Lagedifferenzen zwischen der Absteckung des GeoXH von Trimble und der Echtzeitmessung des Topcon-Empfängers (siehe Tabelle 6.4.3) sind nicht wesentliche Unterschiede zu erkennen. Werte zwischen 35 und 60 cm bei optimalen bzw. mittleren Abschattungsgraden sind mit dem GMS-2 erreichbar. Bei hoher Abschattung gibt es jedoch einen deutlichen Unterschied. Hier differieren die Durchschnittswerte um ca. 40 cm zu ungünstigen des Topcon-Empfängers.

	Aufnahme - Echtzeit		
	Nesselberg Park	Alt Falkenhagen	Nesselberg Waldweg
	niedrige Abschattung	mittlere Abschattung	hohe Abschattung
	Lage [m]	Lage [m]	Lage [m]
durchschnitl. Abweichung	0,34	0,62	1,08
größte Abweichung	0,63	0,91	3,95
Standard-abweichung	0,36	0,64	1,80

Tab. 6.4.3: Abweichungen zu den Sollwerten – GMS-2 - Echtzeit

Analysiert man die Hergehensweise zum Erlangen der Messwerte, werden die Gründe der vorherrschenden Unterschiede deutlich. Beginnend mit der festgelegten Messprozedur von 10 Positionen pro Punkt ist zu erkennen, dass dies mit dem GMS-2 nicht möglich ist. Dieses hat zwar nicht zwingend auf die Lageabweichung Einfluss, jedoch stark auf die Zuverlässigkeit der inneren Messgenauigkeit eines Punktes. Bei dieser Messweise ist man davon abhängig, ob für die eine gemessene Position gute Bedingungen vorherrschen oder eher das Gegenteil. Damit hängt 1:1 die Messgenauigkeit des Punktes zusammen. Umgehen könnte man das Problem, in dem man eine Punktwolke von 10 einzelnen Positionen je Punkt misst, sich bei der Auswertung die DOP-Werte und Satellitenanzahl anzeigen lässt und danach dann die Positionen eliminiert, die das Ergebnis bei einer Mittlung verschlechtern würden. Alle verbleibenden Positionen werden dann zu einer Koordinate als Endergebnis gemittelt. Dieses ist jedoch ein immens hoher Zeitaufwand, welcher wiederum in keinem gesunden Verhältnis zum Messergebnis mit der dazugehörigen Genauigkeit steht. Zudem leidet erheblich die Übersichtlichkeit. Es würde zwar bei dieser Prozedur die Zuverlässigkeit enorm steigen, jedoch nicht zwingend die Lagedifferenz zum Sollpunkt. Ein weiterer kritischer Punkt ist die zu nutzende Anzahl von mindestens 6 Satelliten. Nutzt man 6 Satelliten in guter Konstellation ist es positiv für die Messgenauigkeit, da sich bessere räumliche Schnitte zur Positionsbestimmung bilden lassen. Dieses könnte das fehlende manuelle Bestimmen der Positionsanzahl je gemessenen Punkt etwas ausgleichen. Beim Messen war jedoch zu beobachten, dass der GMS-2 auf Grund seiner kleinen Antenne Schwierigkeiten bei der Verfolgung der Satelliten aufwies. So konnte kaum die geforderte Anzahl von 6 Satelliten erreicht werden. Viele der Beobachtungsobjekte lagen im Abschattungsbereich. Eine Möglichkeit ist es, die Elevationsmaske auf 0° zu setzen. In diesem Fall würde der Empfänger Signale von Satelliten nutzen, die sehr flach über dem Horizont stehen. Diese wirkt sich, aufgrund schleifender Schnittbildungen und langer Wege

durch die Ionos- und Troposphäre, negativ auf die Messung aus. Die zweite Möglichkeit ist, den Zeitpunkt der Messung so zu wählen, dass die Tageszeit genutzt wird, in der die meisten Satelliten zur Verfügung stehen. Diese ist in unserem Landstrich zwischen 11 und 14 Uhr. Eigentlich sollte man Messungen in diesem Zeitraum meiden. Es stehen zwar genügend Satelliten bereit, in der Regel zwischen 9 und 11 Satelliten, jedoch eher in einer ungünstigen Konstellation. Entweder sie bilden eine Reihe oder stehen gebündelt im Zenit. Diese Geometrie ist denkbar ungünstig für die Bildung eines Positionsschnitts. Kenntlich wird das durch einen hohen P-DOP. Man könnte theoretisch den P-DOP auf einen recht hohen Wert z.B. 10 setzen, um eine Lösung zu erhalten, was aber analog in punkto Genauigkeit zum Herabsetzen der Höhenmaske auf 0° stehen würde.

Anhand der Unzulänglichkeiten ist zu erkennen, dass für den Umgang mit dem GMS-2 geschultes Fachpersonal nötig ist. Es gilt gerade hier die Messbedingungen kritisch einzuschätzen und speziell auf die Angaben des Gerätes wie P-DOP und Konstellation der Satelliten mittels Skyplots zu achten.

Auch hier gilt, wie beim GeoXH von Trimble, dass die Echtzeitabsteckung sehr gut zur Unterstützung der Ortungsgeräte geeignet ist. Werte um 30 cm Lagedifferenz bei sehr guten Messbedingungen sind hierbei zu erlangen und vollkommen ausreichend zum Aufsuchen einer Versorgungsleitung.

Abschattungen unterschiedlichen Grades beeinflussen auch bei diesem Gerät die Messgenauigkeiten. Eine Gewichtung, nach Beobachtung der Messbedingungen und Angaben des Gerätes während der Messung, ist empfehlenswert. Die erreichten Lagedifferenzen sind wie bereits erwähnt, ähnlich die des GeoXH. Erhebliche Unterschiede gibt es jedoch in der Zuverlässigkeit und der Kontrolle der Ergebnisse zu ungunsten des GMS-2. Durch die fehlende Möglichkeit im Post-Processing messen zu können, gibt es keine Möglichkeit ein Protokoll über die innere Messgenauigkeit zu Kontrollzwecken zu erhalten.

Da die Anzahl von mindestens 6 Satelliten eingehalten werden muss, ist die Wahl des Zeitraumes der Messung sehr begrenzt, es sei denn man verschlechtert künstlich die Grundeinstellungen, wie Elevationsmaske oder P-DOP.

## Fazit

Vom ersten Anschein ist der GMS-2 von Topcon ein solides und robustes Gerät. Die erreichbaren Genauigkeiten unter guten und mittleren Messbedingungen sind akzeptabel für einen Einfrequenz-Empfänger. Zum Aufsuchen von Versorgungsleitungen wäre es eine gute Hilfe. Für den Aufbau und die Unterstützung des GIS ist aber auch dieses Gerät, auf Grund der Dezimetergenauigkeit, nicht geeignet. Die Option einer integrierten digitalen Kamera in dem Gerät ist ein extra Bonus. Möglichkeiten des Monitorings sind hierbei gegeben, d.h. Punkt wie z.B. Schächte oder Leitungsknoten zu fotografieren mit zusätzlicher Koordinatenbestimmung. Dieses würde bei einem Schachtkataster nicht nur die Lage eines Schachtes kennzeichnen, sondern zusätzlich noch den Zustand via Foto aufzeigen. Weiterhin könnte der Mitarbeiter zusätzlich zu seiner Zeichnung des Knotenpunktes ein Foto hinterlegen.

Die Nutzung von GPS und GLONASS in Zusammenarbeit, bietet die Möglichkeit eine Navigationslösung mit guter Genauigkeit zu erreichen. Dieses ist als eine positive Option zu werten.

Getrübt wird der Gesamteindruck jedoch durch die Handhabung des Gerätes. Die genutzte Software „ArcPad“ und die Erweiterung „eTop+“ als Messprogramm sowie für die Auswertung im Innendienst, verschlechtern die Benutzerfreundlichkeit extrem. Die Software ist durch Unübersichtlichkeit und komplizierten Umgang geprägt. Starre Einstellungsmöglichkeiten, wie die Anzahl der Satelliten und das Fehlen manuell festzulegender Positionsmessungen je Punkt, beeinträchtigen die Messleistungen des Handempfängers. Besonders leidet die Zuverlässigkeit einer Messung darunter.

Nur Geduld und Fachwissen über die relevanten Messoptionen, wie DOP-Werte, Konstellationen der Satelliten und kritische Einschätzungen der äußereren Messbedingungen, führen zu einem verwertbaren Ergebnis. Auch das gänzliche Fehlen der Post-Processing Methode ist ein Manko in diesem System. Laut Angaben des Vertreters der Firma Topcon soll es in Zukunft ein Zusatzprogramm geben, welches dieses ermöglicht. Die Datenübertragung vom und zum Empfänger via USB-Kabel funktioniert reibungslos, jedoch mangelt es bei der Umformung der Koordinatensysteme WGS84 zum S42/83 GK. Zu diesem Zweck sind Zusatzprogramme wie z.B. TRAFO zwingend notwendig.

Beim Abstecken von Punkten in Echtzeit ist aufgefallen, dass die Navigationsgrafik recht umständlich arbeitet. Ein Richtungspfeil in der Grafik ist zwar vorhanden, aber durch sein permanentes Rotieren gibt er keinerlei Hilfe. Umgehbar ist dieses nur, indem man die vorgesehene Navigationsgrafik ausschaltet und sich rein an der Entfernungsangabe zum Sollpunkt orientiert.

Als Schlussfazit ist anzumerken, dass der GMS-2 nur von geschultem Fachpersonal bedient werden sollte, da hier keine Messprozeduren in dem Sinne vorgegeben werden können, sondern nur bestimmte Grundeinstellungen, wie Elevationsmaske und P-DOP greifen.

Durch die mangelnde Software leidet die Benutzerfreundlichkeit und der GMS-2 verschenkt seine Extras, wie integrierte Kamera, Kompass und Nutzung von GPS und GLONASS.

## 6.5 MobileMapperCE von Thales

Der MobileMapperCE von Thales (Abb. 6.5) ist ebenfalls ein Handempfänger der GPS-Empfänger und Antenne beinhaltet. Als Betriebssystem ist auch hier Windows® Microsoft CE zusammen mit der mobilen GIS Software „ArcPad“ installiert.

Es besteht die Möglichkeit via USB den Datentransfer durchzuführen, sowie Rasterdaten und Luftbilder hinzufügen zu laden.



Abb. 6.5: Thales MobileMapper CE

Der Empfang von Korrekturdaten mit GPRS steht mittels eines Bluetooth-Handys zur Verfügung. Mit einer Zusatzsoftware „GPS-Differential“ für „ArcPad“ lässt sich der MobileMapperCE um eine Post-Processing-Funktion erweitern.

Über einen Farbtouchscreen und einer alphanumerischen Tastatur wird die Bedienung der Menüs durchgeführt.

Technische Daten Thales MobileMapperCE	
<b>Empfänger</b>	L1 C/A Code und Träger
<b>Anzahl der Kanäle</b>	14
<b>Echtzeit-Genauigkeit</b>	Submeter (mit Beacon, NTRIP oder anderen Korrekturen)
<b>Post-Processing-Genauigkeit</b>	unter 30 cm (Modul "GPS Differenzial" und GPS-Präzisionsantenne)
<b>Übertragungsprotokoll</b>	NMEA
<b>Echtzeit-Korrekturdatenprotokoll</b>	RTCM
<b>Größe (H x B x T)</b>	19,5 cm x 9,0 cm x 4,6 cm
<b>Gewicht</b>	0,48 kg mit Akku
<b>Betriebstemperatur</b>	-10°C bis +60°C
<b>Display</b>	320 x 240 TFT, 262.144 Farben
<b>Bedienung</b>	Touchscreen, 18 Tasten
<b>Stoßfestigkeit</b>	1,5 m Fall auf Beton, Wasserdicht 30 min bei einer Tiefe von 1 m
<b>Speicher</b>	64 MB SDRAM, 128 MB Nand Flash-Speicher und SD-Speicherkarte
<b>Preis (MMCE oder CX und „ArcPad“)</b>	ca. 3.000,- €

Tab. 6.5: Technische Daten Thales MobileMapper CE [thales08; magellan08]

### 6.5.1 Vorbereitung

Das dritte Testgerät aus der Reihe der GPS-Handempfänger sollte der MobileMapper CX von Magellan sein. Der CX beschreibt die aktuelle Baureihe von Magellan Handempfängern. Zur Vorbereitung für den Gerätetest galt es, sich mit der Firma, welche diese Geräte

anbietet, in Verbindung zu setzen. Dabei stellte sich heraus, dass die aktuelle Version MobileMapper CX leider nicht zur Verfügung steht. Alternativ dazu wurde der Handempfänger MobileMapper CE von Thales zum Verleih angeboten. Zugesichert wurde, dass dieses Gerät über die Fähigkeiten einer DGPS-Messung und über das Post-Processing Verfahren verfügt.

Nach einem vereinbarten Ortstermin bei der Firma Arc-Greenlab in Berlin, welches dieses Gerät vertreibt, sollte eine Einführung in die Funktionsweise des Empfängers erfolgen, sowie Grundeinstellungen für die Echtzeitmessung vorgenommen werden.

Bei diesem Termin offenbarten sich schon im Vorfeld einige Schwächen des Gerätes, sodass die Einführung durch den Mitarbeiter der Firma Arc-Greenlab nicht den gewünschten Erfolg brachte.

Im Einzelnen gestaltete sich der Sachverhalt folgendermaßen: zunächst wurde das Gerät in seiner Ausstattung beschrieben. Das Betriebsprogramm des Empfängers ist Windows® Microsoft CE, das Messprogramm wird durch „ArcPad“ geführt. Zusätzlich zum Messprogramm sind hausinterne Tools der Firma Magellan direkt als Programm auf dem Empfänger abgelegt. Im Vergleich sind beim GMS-2 von Topcon, welches ebenfalls mit „ArcPad“ arbeitet, die Tools direkt im „eTop+“ abgelegt.

Als Software zum Auswerten und Verarbeiten der gesammelten Daten steht für den MobileMapper CE das „ArcGIS“ zur Verfügung. Zum Datentransfer benötigt man das Transferprogramm ActivSync. Über dieses Programm lassen sich, analog zum Trimble und Topcon Empfänger die Daten via USB Kabel zum PC transferieren.

Bei der Betrachtung der Software des Handempfängers ist aufgefallen, dass sie über keinerlei Projektverwaltung verfügt, d.h. man ist nicht in der Lage Projekte im Felde anzulegen und zu verarbeiten. Dies beinhaltet zwingend die Nutzung des „ArcGIS“. Hier werden im Vorfeld alle projektspezifischen Daten erstellt und auf dem Empfänger als so genannten Layer übertragen. Beim Messen wird dann direkt auf die Speicherkarte des Handempfängers zugegriffen und der entsprechend Layer ausgewählt. In diesem Layer müssen relevante Daten, wie z.B. Projektionsebene, Koordinatensystem, Merkmalsdefinitionen, welche später im Felde gespeichert werden sollen, Geoidmodelle oder örtliche Anpassungen für Transformation definiert und gesetzt werden. Bearbeitet man mehrere Projekte im Außendienst, muss für jedes Objekt ein spezifischer Layer angelegt werden. Hierbei ist ebenfalls festgelegt, ob in der Örtlichkeit Punkte, Flächen oder Linien gemessen werden sollen. Die Daten werden als Shape-Datei ausgegeben.

Nachteilig ist bei dieser Form, dass der Handempfänger nicht ohne „ArcGIS“ genutzt werden kann. Möglich wäre demnach ohne „ArcGIS“ nur eine Nutzung als grobes Navigationsgerät, indem man manuell die gemessenen Koordinaten mit den Sollkoordinaten vergleicht und die Unterschiede errechnet.

Für meine Testzwecke wurden von dem Mitarbeiter der Firma Arc-Greenlab ein Layer in „ArcGIS“ spezifisch definiert und auf der Speicherkarte des Empfängers zur weiteren Nutzung abgelegt. Eine Version von „ArcGIS“ steht leider nicht für weitere Untersuchungen zum Verleih.

Da die Auswertung, Betrachtung der Messwerte und die Transformation von gemessenen WGS84- in S42/83 GK-Koordinaten unabdingbar nur in „ArcGIS“ vorgenommen werden

können, wirft diese Untersuchung schon im Vorfeld Probleme auf. Zum Vergleich stehen hier die Software des GeoXH mit „TerraSync“ und die des GMS-2 mit „ArcPad“ zzgl. „eTop+“. Beide Programme ermöglichen das Bearbeiten von Projekten direkt im Felde und müssen nicht aufwendig in einem teuren GIS vordefiniert werden.

Um das Problem der Auswertung und Transformation von WGS84 in S42/83 GK lösen zu können, war mein Plan, die gemessenen Daten als shape-File mittels des Transferprogramms ActivSync in die Software des Trimble GeoXH „Pathfinder“ zu übertragen und dort zu bearbeiten. Diese Lösung wendete ich bereits beim Topcon-Empfänger an, da die dort zur Verfügung stehende Software ebenfalls unzulänglich ist. Zudem sollten gleiche Bedingungen für alle drei Testgeräte zur Verfügung stehen. Dies trifft insbesondere auf die Transformation über die spezielle örtliche Anpassung zu.

Ein weiteres schwerwiegendes Problem offenbarte sich beim Messen an sich mit dem Handempfänger. Die Zusicherung, dass das Verfahren des Post-Processing möglich wäre, bestätigte sich nicht. Die Möglichkeit dieses Messverfahren nutzen zu können scheiterte an fehlender Software für den MobileMapper CE von Thales. Nach Aussage der Firma Arc-Greenlab wird dieses Verfahren zwar angeboten, steht aber auch hier wiederum nicht zum Verleih. Demzufolge sollte sich meine Testmessung nur auf die DGPS-Messung beschränken.

Um eine solche Echtzeitmessung durchführen zu können, galt es nun die erforderlichen Grundeinstellungen am Handempfänger vorzunehmen. Hierbei sollte das Handy, analog den anderen Testgeräten, via Bluetooth mit dem Empfänger als externes Modem verbunden werden. Gesteuert über das Messprogramm „ArcPad“ sollten dann darüber die Korrekturdaten des ascos-ED Dienstes empfangen und verarbeitet und somit die DGPS-Messung vollzogen werden. Eine Anmerkung des Mitarbeiters der Firma Arc-Greenlab regte zum Nachdenken an. Laut seiner Aussage werden die Korrekturdaten generell nicht über ein Handy als externes Modem empfangen, da der Empfänger nicht in der Lage ist, das Handy zu steuern. Im Gegensatz dazu gibt es ein externes GSM-Modem mit dem Namen „come2ascos“. In diesem Zusatzgerät wird die Sim-Karte eingelegt, welche sich manuell gesteuert, in den jeweiligen Korrekturdienst per Direkteinwahl einwählt. Die empfangenen Korrekturdaten werden im Modem durch eine vorhergehende Formatierung aufbereitet und via Bluetooth zum Handempfänger gesendet. Der Handempfänger erkennt dann selbstständig die externe Quelle mit den eingehenden Korrekturdaten, empfängt und verarbeitet diese. Demzufolge ist entsprechend der Aussage von Herrn Freier der Empfänger nur in der Lage, Daten zu empfangen. Irritierenderweise erfolgen die Messung und Verarbeitung der Daten nicht aus dem dafür vorgesehenen Messprogramm „ArcPad“ heraus, sondern werden über die hausinterne Tools von Magellan direkt über den Handempfänger ausgeführt. Zum Vergleich beim GeoXH erfolgte dies über „TerraSync“ und beim GMS-2 über „ArcPad“ zzgl. „eTop+“. Bei beiden Geräten werden lediglich über das Gerät die Bluetooth- und die GPRS-Verbindung eingerichtet. Ebenfalls werden in den Messprogrammen „TerraSync“ und „ArcPad“ die Einstellungen wie Portnummer, IP-Adresse, Benutzername und Passwort vom Korrekturdienst hinterlegt.

Das Zusatzgerät „come2ascos“ hat nur die Möglichkeit, sich über eine Direkteinwahl mittels vorgegebener Telefonnummer in den Korrekturdienst ein zu wählen und nicht wie bei den

anderen Testgeräten via GPRS mit IP-Adresse und Portnummer. Schlussfolgerung aus diesem Sachverhalt ist, dass eine Echtzeitmessung mit dem MobileMapper CE von Thales nur mit dem Zusatzgerät „come2ascos“ möglich ist. Aber auch hier ist die Option nicht gegeben, dieses GSM-Modem aus firmeninternen Gründen auszuleihen.

Das Hindernis mit den Layern aus dem „ArcGIS“ heraus konnte von dem Mitarbeiter der Firma Arc-Greenlab wie beschrieben überwunden werden. Bei dem Problem der Korrekturdatenübertragung konnte leider keine Hilfe angeboten werden. Um jedoch Messergebnisse für den Vergleich erlangen zu können, war eine Lösung nötig. Beim Durchsuchen des hausinternen Tools von Magellan gab es einen Verweis auf NTRIP (Kapitel 3.11.1). Hier bestand eventuell die Möglichkeit das Ziel dennoch zu erreichen. Mangels an Fachkenntnis der Firma Arc-Greenlab über diese Art der NTRIP-Einstellungen endete der Ortstermin in Berlin mit der Übergabe des Gerätes an mich und das Versprechen, einen Mitarbeiter der Firma Magellan zeitnah zur Problemlösung hinzuzuziehen.

Da die Software des Topcon-Empfängers ebenfalls auf dem „ArcPad“ basierte, beschäftigte ich mich nochmals eingehend mit den NTRIP-Einstellungen und versuchte diese parallel auf den MobileMapper CE zu übertragen. Hinzu kamen Recherchen über diesen Empfängertyp im Internet. In einem dem Internet entnommenen Handbuch bestätigten sich die NTRIP-Einstellungen am Gerät. Nach einem Probelauf gelang es mir, eine Bluetooth-Verbindung zum Handy aufzubauen sowie die GPRS-Verbindung herzustellen und mich in den „ascos“ Korrekturdienst ein zu wählen. Die Verbindung gestaltet sich relativ reibungslos, jedoch wurden vom ascos-Server nicht genügend Korrekturdaten in Form von Datenpaketen gesendet. Auf telefonischer Anfrage beim ascos-Dienst wurde mir mitgeteilt, das die Einwahl und somit die Anforderungen von Korrekturdaten erfolgreich funktioniert, aber die Korrekturdaten nicht zum Empfänger gesendet werden können, da die Position des Gerätes nicht erkenntlich ist. Das heißt, die Position vom Empfänger wird zwar im Handempfänger ermittelt und angezeigt, aber nicht zum ascos-Dienst im NMEA-Format (Kapitel 3.10.3) gesendet. Demzufolge können die angeforderten Korrekturdaten nicht rückübertragen werden, um sie daraufhin für eine Echtzeitmessung zu verwenden.

Der Schlussfolgerung nach kommt hier sicherlich die Ablage der Tools direkt als Programm im Gerät zum Tragen. Wie beschrieben wurde bei den beiden anderen Testgeräten die Verbindung zum Korrekturdienst aus dem Messprogramm gestartet. Dies beinhaltet eine direkte Verknüpfung des GPS-Empfängers mit aktuell bestimmter Position und der Datenverbindung zum ascos-Dienst. Das Gerät ist hier nur Mittel zum Zweck für die Bluetooth- und GPRS-Verbindung. Beim MobileMapper CE hingegen werden alle Einstellungen in den hausinternen Tools direkt hinterlegt, hingegen der GPS-Empfänger im separaten „ArcPad“ gestartet wird. Eventuell fehlt eine entsprechende Verknüpfung zwischen dem Anwenderprogrammen, sodass die aktuelle Position nicht zum ascos-Dienst übertragen wird.

Auf nochmaliger Anfrage und Konfrontation mit dem konkreten Problem bei der Firma Arc-Greenlab konnte keine Hilfe geboten werden. Ebenfalls hatte der zweite Mitarbeiter, welcher direkt bei der Firma Magellan beschäftigt ist, keine Lösung zur Hand. Unter gegebenen Umständen scheiterte die Messung mit dem MobileMapper CE an unzulänglicher Software und des nicht habhaft werdenden Zubehörs wie „ArcGIS“ und dem GSM-Modem

„come2ascos“. Ich gehe nicht davon aus, dass es an mangelndem Einsatz und Interesse der Mitarbeiter von Arc-Greenlab und Magellan für diese Testreihe liegt.

Trotz der fehlenden Messergebnisse kann jedoch ein Teilergebnis präsentiert werden. Diese betrifft besonders die Benutzerfreundlichkeit des Gerätes. Wie bei den anderen beiden Geräten können die Antennenhöhe und die Elevationsmaske manuell gesetzt werden. Im Gegensatz zum Topcon können wie beim Trimble GeoXH die Anzahl der zu messenden Positionen eingegeben werden. Bei Versuchsmessungen mit unkorrigierten Daten funktionierte dies reibungslos. Meine festgelegte Messprozedur von 10 Positionen je Punkt hätte somit umgesetzt werden können. Eine Probeabsteckung gestaltete sich ähnlich dem Topcon-Gerät. Hier empfiehlt es sich ebenfalls an der Entfernung zum Sollpunkt zu orientieren.

Störend ist die fehlende Projektverwaltung beim Arbeiten. Verwendete vordefinierte Layer können nur einmal zum Einsatz kommen. Benutzt man sie mehrfach, werden alle ermittelten Daten, egal welches Objekt man bearbeitet, in dem Layer abgelegt. Dies kann bei einer Flut von Daten zu Verwirrungen beim Auswerten der Daten führen, da sich nunmehr alle Daten in einem Layer befinden. Auf Grund der nicht durchführbaren Messung kann keine Aussage zur Messgenauigkeit des Empfängers getroffen werden. An dieser Stelle ist nur auf das Datenblatt von der Firma Thales bzw. Magellan zu verweisen.

## Fazit

Der Einfrequenz-Empfänger von Thales ist mit Abstand das preiswerteste Gerät. Die Einstellmöglichkeiten zum Einhalten der festgelegten Messprozedur sind gegeben. Die Handhabung ist ähnlich dem Gerät von Topcon. In jedem Fall aber nicht so komfortabel wie der Empfänger von Trimble.

Getrübt wird diese Bild von der mir zur Verfügung stehenden Software und des fehlenden Zubehörs. Diese ließ es nicht zu, eine Messung weder im Post-Processing noch in Echtzeit, trotz Unterstützung der Firmenvertreter, durchführen zu können.

Im Paket mit dem „ArcGIS“ und dem GSM-Modem „come2ascos“ mag dies alles funktionieren und ein gutes Gesamtkonzept beschreiben.

Dem Testergebnis sei hinzugefügt, dass der Handempfänger auf Grund der unmöglichen Nutzung ohne Zubehör wie „ArcGIS“ und GSM-Modem nicht nutzbar ist. Demzufolge wird dieser Empfänger aus der Wertung genommen, da es von vornherein keine Alternative für die Stadtwerke Waren darstellt.

## 7. Betrachtung der GPS-Handempfänger

### 7.1 Vergleich GPS-Handempfänger vs. Leitungsortungsgeräte

Grundgedanke war es, zu untersuchen inwieweit Ortungsgeräte durch satellitengestützte Messgeräte unterstützt werden können. Dazu galt es, die vorhandenen Geräte, welche derzeit in den Stadtwerken in Benutzung sind, auf ihre Genauigkeit hin zu überprüfen. Je nach Ortungsverfahren ergaben sich durchschnittliche Abweichungen in den Größen von 14 cm mit der Schubsonde, 32 cm bei der Magnetfeldbesendung und 36 cm mit einem Pulswellengenerator.

Bei der örtlichen Untersuchung ist aufgefallen, dass die Ortungsgeräte zum Teil stark von äußereren Gegebenheiten wie z.B. Lärm oder Bodenart abhängig sind. Auch bauliche Maßnahmen, sind fast in jedem Fall vorzunehmen.

Stellt man nun ein satellitengestütztes Messverfahren den Ortungsgeräten gegenüber, werden unter bestimmten Voraussetzungen neue Anwendungsmöglichkeiten, verbunden mit einigen Vorteilen, ersichtlich.

Die erreichbaren Genauigkeiten mit einem GPS Einfrequenz-Empfänger in Echtzeitabsteckung sind den Lageabweichungen aus den Leitungsortungen heraus sehr ähnlich. Differenzen zur Versorgungsleitung siedeln sich hier zwischen 30 und 60 cm an. Diese Werte sind vollkommen ausreichend, um Leitungen unter Einsatz von Maschinentechnik gut aufzufinden. Einige Vorteile ergeben sich durch den Einsatz der GPS-Messtechnik, welche im Folgenden erläutert werden.

Zum einen entfallen im Vorfeld die kosten- und arbeitszeitaufwendigen baulichen Maßnahmen. Wird eine Leitung mit einem Handempfänger vor Ort abgesteckt, ist man demzufolge klar im zeitlichen Vorteil. Des Weiteren ist man unabhängig von Störquellen wie Bodenart, Oberflächenbeschaffenheit, Lärm oder benachbarten Leitungen. Handlicher sind die GPS-Geräte in jedem Fall und lassen sich leicht von einer Person bedienen. Unter gegebenen örtlichen Messbedingungen liefern die satellitengestützte Messsysteme relativ konstante Werte bezüglich der Lageabweichung. Bei einigen herkömmlichen Leitungsortungsverfahren muss die Versorgungsleitung unterbrochen werden, was eine Stilllegung der Leitung für einen gewissen Zeitraum beinhaltet. Diese entfällt gänzlich beim Einsatz der GPS-Messtechnik. Als letzten Vorteil ist zu nennen, dass weder das Material der Leitung, der Inhalt oder die Tiefe des Objekts die GPS-Messung beeinflussen.

Um jedoch die Vorteile der GPS-Technik nutzen zu können sind einige Voraussetzungen zu erfüllen. Eine Grundvoraussetzung ist, dass die zu suchende Leitung koordinatenmäßig in einem GIS bereits erfasst ist. Zudem stehen die Beschaffung des Gerätes nebst Software und die Schulung der zukünftigen Nutzer aus. Die laufenden Unterhaltskosten für den Korrekturdienst sind zu beachten. Bei der Feldarbeit sind dann die Messbedingungen einzuschätzen und vorgegebene Messprozeduren einzuhalten. Bei extrem hohem Abschattungsgrad ist eine GPS-Messung nicht möglich und muss hier als Nachteil von einem anderen Messverfahren z.B. mit einem Tachymeter abgelöst werden. Da nicht immer alle Voraussetzungen gegeben sind, werden bestehende Ortungsgeräte nicht vollständig von GPS-Systemen abgelöst werden können.

Betrachtet man die Vorteile, ist in jedem Fall ein Einfrequenz-Empfänger auf Dauer ein lohnender Begleiter als Ergänzung zu den vorhandenen Leitungsortungsgeräten.

Die Tabelle 7.1 soll die Vor- und Nachteile kurz und übersichtlich zusammenfassen.

Vorteile des GPS	Nachteile des GPS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeiteinsparung</li> <li>- keine baulichen Maßnahmen</li> <li>- unabhängig von Störquellen wie Lärm, Bodenart, Oberflächenbeschaffenheit und benachbarte Leitungen</li> <li>- unabhängig von Material, Inhalt und Tiefe der Leitung</li> <li>- keine Unterbrechung der Versorgungsleitung während der Absteckung</li> <li>- handlich leichte Technik</li> <li>- konstante Werte bei der Absteckung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschaffung Gerät und Software</li> <li>- Unterhaltungskosten (Korrekturdienst)</li> <li>- Schulung des Personals</li> <li>- abhängig von äußeren Messbedingungen</li> <li>- existieren der Leitung im GIS</li> </ul>

Tab. 7.1: Vor- und Nachteile – GPS-Handempfänger vs. Leitungsortungsgeräte

## 7.2. Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von GPS-Handempfänger

Betrachtet man den wirtschaftlichen Nutzen eines satellitengestützten Messsystems, möchte ich aus Gründen der Wiederholung des Textes auf die Übersichtstabelle 7.1 der Vor- und Nachteile – GPS-Handempfänger vs. Leitungsortungsgeräte verweisen.

Daraus geht deutlich hervor, welche Vorteile sich aus einem GPS-Handempfänger ergeben können. Vornehmlich ist hier die Zeitersparnis, die Einmann-Bedienung der Technik und zu letzt der Verzicht auf bauliche Maßnahmen zu nennen.

Abgesehen von der Unterstützung der Ortungsgeräte eignet sich der Einfrequenz-Empfänger auch für Vermessungsarbeiten mit einer geringeren Genauigkeitsklasse von 30 bis 50 cm. Erwähnenswert wäre hier z.B. die Dokumentation einer Rohrbruchstelle, die sicherlich einfacher und genauer zu handhaben ist als mit herkömmlicher Methode. Dieses erfolgt in der Regel mittels aufwendiger Messbandeinmessung auf bestehende Topografien.

Flächenbestimmungen zum Zweck einer Entschädigung je  $m^2$  bei Verlegearbeiten von Leitungstrassen auf privatem Grund, bestimmen von Leitungslängen für die Kostenberechnung von Hausanschlüssen oder die Unterstützung von Planungsarbeiten für zukünftig entstehende Versorgungsstränge wären ein denkbarer Ansatz für eine effektive Nutzung eines Einfrequenz-Empfängers.

Sicherlich ergibt sich eine ganze Reihe an Verwendungsmöglichkeiten bei längerer Nutzung dieser Technik. Voraussehbar ist, dass bei der Durchführung von kleineren Vermessungsarbeiten in Eigeninitiative Kosten durch den Verzicht auf Fremdfirmen gespart werden können. Bei reger Nutzung des Gerätes, werden sich Anschaffungs- und Unterhaltungskosten zeitnah amortisieren.

## 7.3 Vergleich der GPS-Handempfänger

Bevor der direkte Vergleich der drei Handempfänger erfolgt, sei erwähnt dass keines der drei Geräte den Anforderungen der Stadtwerke Waren entspricht. Hier ist speziell die zu erreichende Lagegenauigkeit zu nennen. Für die Aufnahme von Leitungen etc. für das GIS sind 30 cm gefordert. Nur unter idealen Messbedingungen ist dieser Wert umsetzbar. Im Mittel sind unter verschiedenen örtlichen Messbedingungen ca. 50 cm zu erlangen. Dieses reicht vollkommen für eine Unterstützung der herkömmlichen Ortungsgeräte aus, jedoch nicht für eine Aufnahme.

Zum direkten Vergleich der Handempfänger ist die Tabelle 7.3 eine gute Übersicht. Die erzielten Messgenauigkeiten der Geräte sind annähernd gleich. Beim Thales muss in diesem Fall auf das Datenblatt verwiesen werden, da keine Messung in Echtzeit unter gegebenen Umständen möglich war. Deutliche Unterschiede gibt es hingegen bei der Zuverlässigkeit der gesammelten Daten, die Umsetzung der von mir festgelegten Messprozedur und insbesondere bei der Ausstattung der Software. Bei der Verarbeitung, Größe und Gewicht haben alle drei Empfänger annähernd gleiches Niveau.

Der GeoXH von Trimble kann besonders mit der umfangreichen und komfortablen Software und seiner Robustheit trümpfen. Übersichtlichkeit und die daraus resultierende leichte Bedienung und Handhabung des Gerätes prägen den GeoXH. Zudem kann man ihm ein sehr stabiles Messverhalten zuordnen. Bei der Auswertung und Bearbeitung der Messdaten hilft nicht nur das Messprogramm „TerraSync“, sondern auch die Software für den PC im Innendienst „Pathfinder“. Bedingt durch diesen Sachverhalt ist die Kontrollierbarkeit und daraus folgend die Zuverlässigkeit akzeptabel. Als einziges Gerät bietet seine Software das Post-Processing an.

Der GMS-2 von Topcon arbeitet mit dem Zusatzmessprogramm „eTop+“, welches im eigentlichen Messprogramm „ArcPad“ integriert ist. Dieses Zusatzprogramm bietet zumindest die Option der Projektverwaltung im Außendienst. Post-Processing und die Einhaltung meiner Messprozedur sind entgegen dem GeoXH von Trimble mit dem GMS-2 nicht umsetzbar. Die Software für den Innendienst beschränkt sich auf das „ArcPad“. Dieses bietet keine weiteren Bearbeitungsmöglichkeiten der Messdaten. Die mangelnde Software und nicht änderbare Werkseinstellungen (Satellitenanzahl) lassen den ansonsten robust konstruierten Empfänger recht starr und unkomfortabel in Auswertung und Bedienung werden. Leider ist die integrierte GPS-Antenne etwas kleiner und anders im Gerätegehäuse positioniert als die des GeoXH. Dies hat direkten negativen Einfluss auf die Empfangsleistung des GMS-2, was wiederum störend auf die Messung einwirkt. Ein Pluspunkt bei diesem Gerät ist die eingebaute Kamera. Die Option des Monitoring ist hier gegeben, was aber in Zusammenarbeit mit der mangelhaften Software nicht den gewünschten Effekt bringt.

Der MobileMapper CE von Thales ist mit Abstand der günstigste Empfänger. Soll das Gerät jedoch in einen messfähigen Zustand versetzt werden, ist teures Zubehör in Form eines GIS „ArcGIS“ und eines GSM-Modem „come2ascos“, welches speziell auf den Empfänger abgestimmt ist, notwendig. Dies relativiert den Anschaffungspreis des Gerätes in entgegen gesetzte Richtung. Die Grundsoftware für den Empfänger sowie für den PC „ArcPad“

---

zuzüglich der hauseigenen Tools von Magellan als Anhang für das Messprogramm haben noch mehr Defizite als die des Topcon-Empfängers. Weder das Messen in Echtzeit noch im Post-Processing sind hier gegeben. Über eine eigene Projektverwaltung verfügt das Programm ebenso wenig. Dies ist nur über das „ArcGIS“ möglich. Leider ist der Support der Firmen Arc-Greenlab und Magellan nicht in der Lage, das Gerät ohne Zubehör in den Messmodus für DGPS-Messungen zu versetzen. Dies entspricht nicht dem Stand der Technik und ist daher keine Option für die Stadtwerke Waren.

In der folgenden Tabelle 7.3 ist der Vergleich der getesteten GPS-Handempfänger und ein Zweifrequenz-Empfänger hinsichtlich des Anforderungsprofils der Stadtwerke Waren übersichtlich dargestellt.

	Einfrequenz-Empfänger			Zweifrequenz-Empfänger
	GeoXH Trimble	GMS-2 Topcon	MobileMapper CE Thales	z.B. Rover 5800
<b>Genauigkeit und Zuverlässigkeit:</b>				
Lageabweichung - Aufnahme (30 cm)	✗	✗	—	✓
- Absteckung (1 m)	✓	✓	—	✓
Korrekturdaten - DGPS-Messung	✓	✓	—	✓
- Post-Processing	✓	✗	✗ <sup>1</sup>	✓
Beurteilung der Messungsqualität	✓	✓	✗	✓
<b>Benutzerfreundlichkeit:</b>				
intuitiv bedienbar	✗	✗	✗	✗
Messdauer je Punkt (< 1 min)	✓	✓	—	✓
Erfassen von Bemerkungen	✓	✗	✓ <sup>2</sup>	✓
Erweiterbarkeit von Fachinformationen	✓	✗	✓ <sup>2</sup>	✓
benutzerdefiniertes Koordinatensystem (S42/83 GK)	✓	✗	✓ <sup>2</sup>	✓
Datenaustauschformat (DXF / SHAPE)	✓/✓	✗/✓	✗/✓	✓/✓
Automatischer Datenfluss	✓	✓	✓	✓
Hintergrundkarten (lokal / global gespeichert)	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✗/✗
als Handgerät geeignet	✓	✓	✓	✗
Akkubetrieb (für einen ganzen Arbeitstag)	✓	✓	✓	✓
<b>Preis:</b>				
unter 10.000 € für ein Vollsystem	✓	✓	✓	✗
<b>Besonderheiten:</b>				
	Software	Kamera	Preis	
<b>Legende:</b>				
✓	möglich	1	Zusatzsoftware "Differential GPS"	
✗	nicht möglich	2	Zusatzsoftware "ArcGIS"	
—	kein Ergebnis			

Tab. 7.3: Vergleich der getesteten Handempfänger hinsichtlich des Anforderungsprofils

## 7.4 Geräteempfehlung

Nach Abschluss der praktischen Arbeit und Betrachtung der Auswertung aller getesteten Handempfänger ist das am ehesten geeignete Gerät beim GeoXH der Firma Trimble zu finden. Dies sei im Folgenden begründet.

Der GeoXH von Trimble erfüllt in erster Linie fast alle Kriterien des Anforderungsprofils, welches durch die Stadtwerke Waren erstellt worden ist. Aus eigener Sicht ist das Gerät in Benutzerfreundlichkeit, Haptik, verwendbarer Software, Genauigkeit und Zuverlässigkeit ein stimmiges und gelungenes Gesamtpaket. Voraussetzungen sind hierfür das Einhalten der von mir festgelegten Messprozedur und Beobachtung der örtlichen Bedingungen.

Bei fachgerechter Handhabung sind Lagegenauigkeiten zwischen 40 und 60 cm, je nach örtlichen Gegebenheiten, bei einer Echtzeitmessung oder im Post-Processing zu erreichen. Mangels der Möglichkeit Einfluss auf die Messwerte nehmen zu können, ist jedoch die Option zur Einstellung von Rahmenbedingungen gegeben. Hierzu gehören die Definition der Antennenhöhe, DOP-Werte, Elevationsmaske, Messdauer je Position und die manuelle festlegbare Positionsanzahl je Punkt. Alle Rahmenbedingungen ermöglichen das Umsetzen der festgelegten Messprozedur sowie der geforderten Messdauer unten einer Minute und sind somit ein Garant für Lagegenauigkeit und Zuverlässigkeit. Ein Protokoll weist beim Post-Processing zusätzlich auf die innere Genauigkeit der einzelnen Messpunkte und auf die prozentuale Gesamtgenauigkeit des vollständigen Messobjekts hin.

Die Software „Pathfinder“ für den PC im Innendienst verschafft eine weitere Kontrollmöglichkeit der Messung. Beim Auswerten können hier über Satellitenanzahl und DOP-Werte Informationen eingeblendet werden. Die als komfortable einzustufende Software bietet zudem eine Vielzahl an Bearbeitungs- und Einstellungsmöglichkeiten. „Pathfinder“ verfügt über ein eigenes Datentransferprogramm, welches einen automatischen Datenfluss verschiedenster Datenformate wie z.B. DXF oder SHAPE zulässt. Transformationen von verschiedenen Koordinatensystemen untereinander sind, durch Hinterlegen oder manuelles Erstellen einer örtlichen Anpassung, möglich. Umformungen von WGS84 in S42/83 GK und umgekehrt stellt kein Problem dar. Der „Pathfinder“ bietet ebenfalls eine Kartenfunktion an. Hierin können alle importierten Daten wie z.B. Messdaten oder Hintergrunddaten aus einem GIS sichtbar gemacht werden. Nachbearbeitungsmöglichkeiten von Messdaten können durch manuelles Setzen von Merkmalen und Attributen eine Punktinformation vervollständigen. Eine Plotterfunktion lässt das Drucken von Karten zzgl. gegebener Situation mit einem hinterlegten Raster und Maßstab nach Wahl zu.

Der Handempfänger selbst ist mit dem Messprogramm „TerraSync“ ausgestattet. Bezeichnend für dieses Programm ist die gute Übersichtlichkeit und Bedienbarkeit. Wie beschrieben ist das Setzen der Rahmenbedingungen für eine Messung in diesem Programm schnell und präzise möglich. Das Hinterlegen einer eigenen örtlichen Anpassung im Projekt ermöglicht das Messen vor Ort in einem aus einem GIS gegeben Koordinatensystem und beschränkt sich nicht ausschließlich auf WGS84. Ein Datei-Manager in „TerraSync“ ermöglicht eine Projektverwaltung und zusätzlich das Hinterlegen von Hintergrundkarten und Orthophotos. Merkmale oder Attribute für einen Messpunkt können während der Messung leicht über das Touch-Screen eingegeben werden. Die zweite Möglichkeit besteht darin, im

Datei-Manager Layer für Punkte, Linien oder Flächen vorzudefinieren. Durch einen Schnellzugriff während der Messung sind die Layer dann nutzbar.

Gekoppelt mit der Kartenfunktion bietet das Navigationsprogramm des „TerraSync“ eine gute Orientierungsmöglichkeit im Feld. Klar definierte Punkte aus einem GIS oder manuell gemessen, können im Rahmen der Lagegenauigkeit über die Navigationsgrafik abgesteckt werden.

Der GeoXH selbst ist ein robustes spritzwasser-, staub- und aufprallgeschütztes Gerät mit einem Gewicht von ca. 0,8 kg. Er liegt gut in der Hand, verfügt über eine Bluetooth-Schnittstelle und kann mit einer zusätzlichen externen Zephyr-Antenne ausgestattet werden. Hierfür empfiehlt sich dann ein Tachymeterstab mit Halterung für den Empfänger, welches von der Firma Trimble angeboten wird. Die interne GPS-Antenne ist leicht winklig zum Display angeordnet, sodass das Display schräg zur besseren Lesbarkeit gehalten werden kann. Die GPS-Antenne liegt dann waagerecht und verkleinert somit den Anteil der Eigenabschattung durch den Beobachter. Die Arbeitsleistung des Akkus beträgt je nach Intensität der Beanspruchung 2 – 3 Tage. Es ist eine Lithium-Ion-Batterie, welche schnell im Gerät aufladbar ist.

Preis für ein Gesamtpaket beträgt ca. 8.600,- €. Inhalt sind hier der GeoXH und das Softwarepaket „TerraSync“ und „Pathfinder“.

Darauf hinzuweisen ist, dass für eine DGPS-Messung ein Handy als externes Modem und ein entsprechender Korrekturdatendienst vorhanden sein muss. Der Nutzer eines solchen Gerätes sollte im Vorfeld eine ausreichende Unterweisung im Umgang mit dem Gerät erhalten.

Da alle drei Handempfänger, inbegriffen der GeoXH von Trimble, den Genauigkeitsanforderungen zur Datenerfassung für ein GIS nicht entsprechen, möchte ich an dieser Stelle auf eine mögliche Option eines GPS-Empfängertyps verweisen, welcher diese Anforderungen erreicht. Hierbei handelt es sich um einen Zweifrequenz-Empfänger. Dieser bietet in den Punkten Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Kontrolle der Messdaten ein Optimum für eine Datenerfassung für ein GIS. Abgesehen von den Anschaffungskosten würde er so gut wie alle Kriterien des Anforderungsprofils erfüllen (siehe Tabelle 7.3 und Kapitel 7.6 Verweis auf einen Zweifrequenz-Empfänger).

## 7.5 Technologiefestlegung für den GeoXH

Um einen fachgerechten Umgang mit dem Empfänger gewährleisten und entsprechende Lagegenauigkeiten und deren Zuverlässigkeit erreichen zu können, ist ein bestimmter Ablaufplan einzuhalten. Detaileinstellungen am Gerät müssen vorgenommen sowie die Messbedingungen beurteilt werden. Bezeichnen möchte ich dies als Messprozedur.

Zunächst soll die Grundeinstellung (Abb. 7.5-1) des Empfängers als Rahmenbedingungen für eine GPS-Messung erläutert werden, welche im Messprogramm „TerraSync“ unter „Einstellungen“ erfolgen.

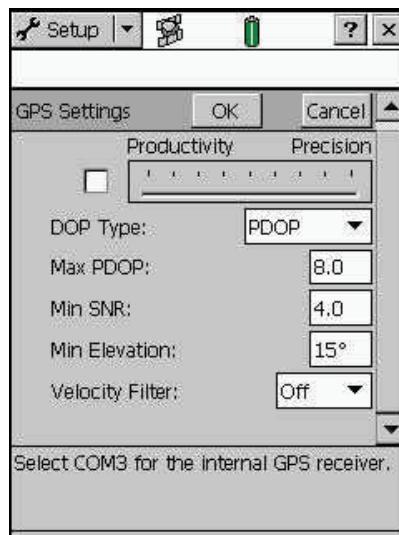


Abb. 7.5-1: GPS – Grundeinstellungen [guide08]

- max. P-DOP - 6.0
- Elevationsmaske - 10°
- Antennenhöhe - je nach Abstand zwischen Antenne und Messobjekt
- Messdauer je Position - 5 sek
- Einheiten für alle Maßangaben - Meter
- Koordinatensystem - WGS84 (Breite/Länge)

Es empfiehlt sich generell mit dem Handempfänger im WGS84 zu messen und die Umformung der Koordinaten im „Pathfinder“ durch Hinterlegen einer örtlichen Anpassung vorzunehmen. Dies ermöglicht die Verwendung unterschiedlicher örtlicher Anpassungen für verschiedene Messgebiete.

Diese Grundeinstellungen sollten in der Regel nicht durch ungeschultes Personal geändert werden, da sonst die Genauigkeit nicht mehr gewährleistet ist. Unterschieden wird nun nach Post-Processing und DGPS-Messung.

#### Post-Processing:

- unter „Einstellungen“ erfolgt die Einstellung „unkorrigiertes GPS verwenden“

Die Messung kann gestartet werden. In diesem Fall werden nur Rohdaten für eine spätere Auswertung gesammelt.

#### DGPS-Messung:

- unter „Einstellungen“ erfolgt die Einstellung „externe Quelle“

Als Unteroptionen zur „externe Quelle“ wird „VRS“ als Vermessungsstil gewählt.

- Verbindungsmethode „Internet“
- Adresse sowie Port, Quelle und Benutzername richten sich nach Angaben des Korrekturdienstes.

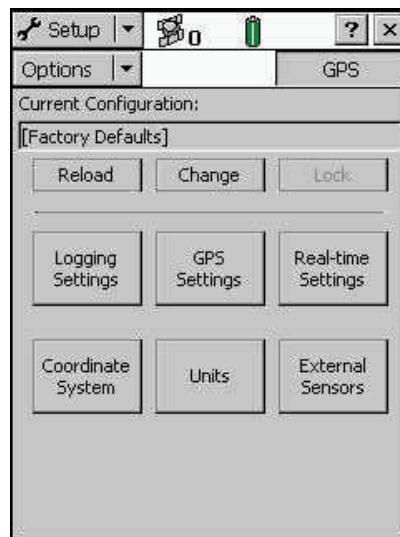


Abb. 7.5-2: GPS – Einstellungen [guide08]

Alle Einstellungen müssen akkurat eingegeben werden, da sonst keine Messung möglich ist. Für eine DGPS-Messung muss zusätzlich ein externes Modem in Form eines Handys, zur Übertragung der Korrekturdaten, gekoppelt werden. Dazu muss in beiden Geräten die Bluetooth-Schnittstelle frei geschaltet werden, im Handempfänger wird das externe Modem gescannt und als Zusatzgerät abgelegt. Für eine spätere Identifizierung werden beide Geräte mit einem identischen PIN versehen. Alle Einstellungen bleiben nach Abschalten des Gerätes erhalten und brauchen nicht erneuert zu werden.

#### **Messablauf Post-Processing:**

- Einschalten des Handempfängers
- Messprogramm „TerraSync“ öffnen
- „Datei-Manager“ – neues Projekt anlegen oder bestehendes Projekt verwenden
- „Einstellungen“ – GPS-Empfänger starten
- „Status“ – öffnen des Skyplots möglich, hieraus kann die Satellitenkonstellation ersehen werden
- „Karte“ – hier kann die Messung beginnen, Wahl eines vordefinierten Layers oder manuelle Vergabe von Merkmalen

Beim Messen sind im oberen Teil der Grafik die Genauigkeit der Navigationslösung, die Anzahl der genutzten Satelliten und die innere erreichbare Genauigkeit für das Post-Processing erkennbar. Des Weiteren wird aufsteigend die erreichte Positionsanzahl während der Messung im rechten oberen Feld des Displays angegeben. Empfohlen wird hier die Messung von zehn Positionen je Punkt. Während der Messung kann das Merkmal eingeben werden. Sind zehn Positionen erreicht, muss die Messung durch „Speichern des Punktes“ unterbrochen werden.

- nach Abschluss der Messung wird
- der GPS-Empfänger getrennt
- das Projekt geschlossen
- „TerraSync“ beendet
- Handempfänger abgeschaltet

### Auswertung Post-Processing:

- Daten vom Handempfänger zum „Pathfinder“ übertragen

Hierbei setzt Trimble auf herstellerspezifische Dateitypen. Die zuvor übertragenen und unkorrigierten Daten liegen in einer „SSF“ Datei vor.

- „Differenzielle Korrektur“ starten

Dazu die zu verwendende „SSF“ Datei auswählen. Die Auswertung sollte erst nach 24 Stunden gestartet werden, da sonst zu wenig verarbeitete Korrekturdaten des Dienstes angeboten werden. Zu wählen ist ein Basis-Dienstanbieter der räumlich am dichtesten zum Messgebiet liegt.

- die „SSF“ Datei wird in eine „cor“ korrigierte Datei gewandelt
- Protokoll zum Post-Processing anzeigen lassen und anhand dessen die Messung einschätzen (siehe Kapitel 6.1.2.1)
- „cor“ Datei über Menüpunkt „Export“ in das gewünschte Dateiformat z.B. dxf oder shape wandeln
- Datei kann aus dem Ordner „Export“ dann weiterverarbeitet werden

Vor dem Exportieren der „cor“ Datei muss zwingend die örtliche Anpassung für das vorgesehene Koordinatensystem gewählt werden, da sonst die Daten im WGS84 übertragen werden.

### Messablauf DGPS-Messung:

- einschalten des Handempfängers
- Bluetooth- und GPRS-Verbindung zum Handy aufbauen
- Messprogramm „TerraSync“ öffnen
- „Datei-Manager“ – neues Projekt anlegen oder bestehendes Projekt verwenden
- „Einstellungen“ – GPS-Empfänger starten

Nach erreichen der Navigationslösung, dessen Anzeige im rechten oberen Displayfeld erfolgt, kann die „externe Quelle“ gestartet werden. Über die GPRS-Verbindung werden die Korrekturdaten angefordert und stehen nach etwa 30 Sekunden zur Anwendung bereit. Aus der Navigationslösung wird eine korrigierte Lösung.

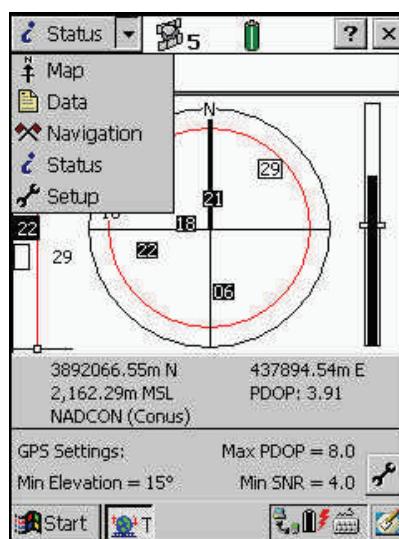


Abb. 7.5-3: Status - Skyplot [guide08]

- „Status“ – öffnen des Skyplots (Abb. 7.5-3) möglich, hieraus kann die Satellitenkonstellation ersehen werden
- „Karte“ – hier kann die Messung beginnen, Wahl eines vordefinierten Layers oder manuelle Vergabe von Merkmalen
- bei Absteckung wird der aufzusuchende Punkt markiert und über das Navigationsprogramm (Abb. 7.5-4) abgesteckt

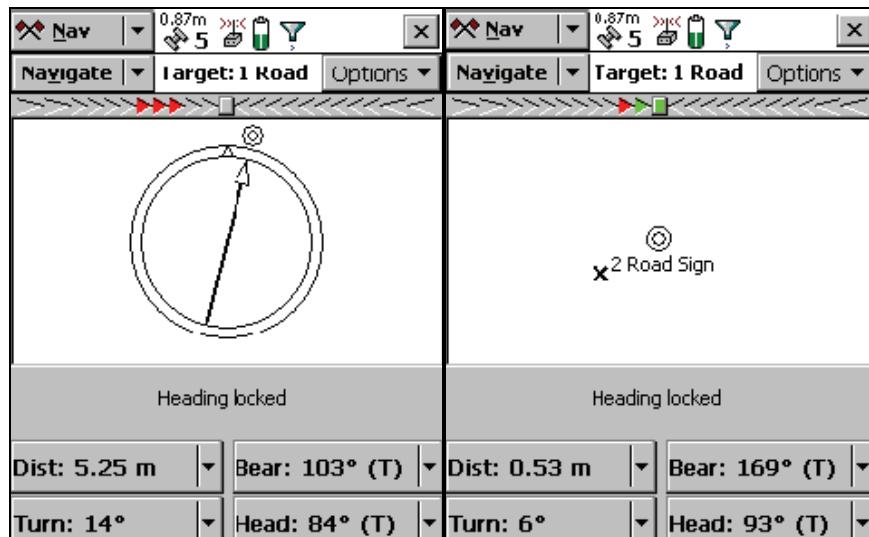


Abb. 7.5-4: Navigation [terra08]

Nach Abschluss der Messung wird nun in umgekehrter Reihenfolge, beginnend mit der externen Quelle, der Messablauf bis zum Abschalten des Handempfängers beendet.

- Messdaten werden wieder zum „Pathfinder“ übertragen
- Über „Export“ wird die Datei in eine entsprechendes Format gewandelt und abgelegt

Vorausgesetzt, dass bei einer Absteckung in Echtzeit im WGS84 gearbeitet wird und die entnommenen Daten aus einem GIS ein anderes Bezugsystem haben, muss die Datei eventuell im Vorfeld durch ein Zusatzprogramm transformiert werden. Wird im gleichen System wie im GIS auch in der Örtlichkeit mit einer entsprechenden Transformation gearbeitet, entfällt dieser Schritt.

Beim Post-Processing sowie bei einer DGPS-Messung sind zwingend alle Messabläufe der Reihenfolge nach einzuhalten, da es sonst zu Systemfehlern in den Programmen kommt. Eine Messung ist in diesem Fall nicht mehr möglich. Das Problem lässt sich nur durch ein „Reset“ des Empfängers beheben.

Ein wichtiger Punkt in der Technologie ist die kritische Einschätzung der örtlichen Messbedingungen. Wie in der Auswertung der Messergebnisse für den GeoXH erkenntlich ist, haben unterschiedliche Abschattungsgrade Einfluss auf die Genauigkeit. Daher muss vor Beginn der Messung die Umgebung auf Grad des Bewuchses, der Bebauung oder anderer Störquellen wie Hochleitungen untersucht werden. Dieser Zustand muss unabdingbar notiert und zur Auswertung hinzugezogen werden. Denkbar ist hier eine Gewichtung der Messpunkte in einem Zahlenwert vorzunehmen, z.B. 1 – gut, 4 – sehr schlecht, und sie als Merkmal zum Punkt zu addieren.

Bei der Handhabung des Gerätes ist darauf zu achten, dass die Antennenhöhe entsprechend der Haltehöhe des Empfängers eingegeben und der eingegebene Wert während der Messung annähernd konstant gehalten wird. Die Antenne sollte so zum Körper positioniert werden, dass die Eigenabschattung so gering wie möglich ist und sich das Zentrum lotrecht über dem Messpunkt befindet. Während der Messung ist der Empfänger ruhig zu halten. Zur Übersichtlichkeit ist anzuraten, bei jeder Messung ein Feldbuch zu führen. Hierin sollte grob die Übersicht grafisch dargestellt und eventuell Punktnummern vergeben werden. Dies dient in jedem Fall, Verwechslungen bei der Auswertung zu vermeiden.

Grob zusammengefasst sind Rahmenbedingungen am Gerät einzustellen, die örtliche Umgebung kritisch zu beobachten und einzuschätzen. Eventuell ist eine Gewichtung der Punkte vorzunehmen. Bei Echtzeitmessungen ist ein Korrekturdienst zu nutzen, welche sich entweder auf den ascos- oder SAPOS-Dienst beziehen. Ein Feldbuch ist zur Übersicht zu führen, ebenfalls ist eine Anzahl von zehn Positionen á 5 Sekunden Messdauer pro Punkt zu messen. Eine ausführliche Unterweisung des Gerätenutzers ist unumgänglich. Werden alle Voraussetzungen und Bedingungen eingehalten ist die Garantie gegeben, Lagegenauigkeiten entsprechend den Testmessungen unter gegebenen Abschattungsgraden zu erreichen.

## 7.6 Verweis auf einen Zweifrequenz-Empfänger

Um Objekte wie Leitungen in der Örtlichkeit mit einem GPS-Empfänger abstecken zu können, ist es zwingend notwendig die Koordinaten der Punkte vorliegen zu haben. In der Regel befinden sich diese Koordinaten in einer Datenbank des jeweiligen Anwenders. Ein Teil der Aufgabenstellung der Diplomarbeit besagt, GPS-Messsysteme, speziell GPS-Handempfänger, auf ihre Fähigkeit zum Aufmessen von Objekten hin zu untersuchen. Gefragt ist hier insbesondere die zu erreichende Lagegenauigkeit dieser Messungen, da die Ergebnisse zum Aufbau und zur Erweiterung des GIS der Stadtwerke Waren Anwendungen finden könnten. Bei den Untersuchungen der drei Handempfänger, hauptsächlich bei der Auswertung der Messergebnisse im Post-Processing sowie der in Echtzeit, ist aufgefallen, dass sich die Lageabweichungen weit im Dezimeterbereich befinden. Je nach Abschattungsgrad, ausgenommen extrem hoher Abschattung, sind Werte zwischen 30 und 60 cm erzielt worden. Diese zwar relativ guten Ergebnisse für Einfrequenz-Empfänger, welche auf festgelegte Messprozeduren und Verwendung einer örtlichen Anpassung zurückzuführen sind, eignen sich jedoch nicht zum Aufbau eines GIS. Erforderlich wären hier, aus meiner Sicht, Lagegenauigkeiten bis maximal 10 cm. Die geforderte Genauigkeit begründet sich aus mehrerlei Hinsicht wie folgt. Die Einarbeitung des Leitungskatasters in das GIS der Stadtwerke Waren geht einher mit der Kopplung der Katastergrenzen und dem Gebäudebestand. Im Zusammenhang mit dem Verfahren nach dem Grundbuchbereinigungsgesetzes ist die Lage der Leitung so genau wie möglich zu erfassen, um eine definierte Aussage über die Lage der Versorgungseinrichtung zur Grundstücksgrenze treffen zu können. Gerade bei Leitungen im grenznahen Bereich ist entscheidend, auf welchem Grundstück sich das Objekt befindet. Als nächster Grund wären

---

Verwechslungen beim Aufsuchen von Leitungen zu vermeiden. Im innerstädtischen Bereich gibt es eine Vielzahl an Leitungen, die dicht nebeneinander liegen. Bei der Betrachtung der Lageabweichungen für die Einfrequenz-Empfänger sind Abweichungen im Dezimeterbereich festgestellt worden. Wird eine Leitung nun zusätzlich ungenau aufgemessen und es kommt zu einem späteren Zeitpunkt eine Absteckung jener Leitung mit einem Handempfänger, kann sich die Lageabweichung unter ungünstigen Verhältnissen verdoppeln. Diese hätten dann Differenzen bis zu 1 m zur Folge. Ein weiteres Kriterium ist die Bereitstellung der Daten für Fremdfirmen. Da wären z.B. Stadtverwaltungen, andere Versorgungsunternehmen oder andere öffentliche Träger mit berechtigtem Interesse. Auch hier sollte einer hohen Genauigkeitsanforderung genüge getan werden.

Bei den Untersuchungen zu den Einfrequenz-Empfängern habe ich parallel mit einem GPS Zweifrequenz-Empfänger gearbeitet. Dieser diente mir meine Sollpunkte und Aufnahmenetze präzise bestimmen zu können. Unter Einhaltung bestimmter Messprozeduren und Verwendung des SAPOS®-HEPS Dienstes gewährleistet mir diese eine 3D-Lagegenauigkeit von mindestens 3 cm.

Um die aus meiner Sicht heraus geforderten und begründeten Lagegenauigkeiten zum Aufbau eines GIS zu ermöglichen, ist ein Zweifrequenz-Empfänger dem Einfrequenz-Empfänger vorzuziehen. Zum einen ermöglicht der Einsatz eines Zweifrequenz-Empfängers eine hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit beim Aufmessen von Objekten, zum anderen ist eine präzise Absteckung von Leitungen machbar. Selbst eine Höhenbestimmung im cm-Bereich wäre möglich.

Hinzu kommt das mit einem Messgerät, welches sehr gute Genauigkeiten bietet, mehr Aufgabengebiet erfüllt werden können. Auszugehen ist davon, das bei längerer und intensiver Nutzung eines solchen Gerätes neu Ansprüche erwachsen. Unter Umständen deckt ein Einfrequenz-Empfänger auf Dauer nicht mehr die Bedürfnisse ab. Der Kosten-Nutzenausgleich würde sich sicherlich durch die erhöhten Anschaffungskosten zeitlich nach hinten verlagern, jedoch ist davon auszugehen das ein Messgerät einer langjährigen Nutzung unterliegt.

Voraussehbar ist auch, dass die Firmen mehr Intensität in die Entwicklung von Zweifrequenz-Empfängern investieren werden, als in die Pflege der Handempfänger. Dies gilt gerade für die Nutzung von GPS, GLONASS und Galileo.

Aus meinem Ermessen heraus wäre ein Zweifrequenz-Empfänger auf Grund seiner Eigenschaften eine bessere Wahl für ein Messinstrument.

## 8. Zusammenfassung

Aufgabenstellung der Diplomarbeit war es, für die Stadtwerke waren satellitengestützte Messsysteme auf ihre Eignung zur Arbeitsunterstützung und -erleichterung hin zu untersuchen.

Kriterien, welche das Versorgungsunternehmen in einem Anforderungsprofil zusammenfassten, bildeten die Grundlage der Untersuchungen. Getestet werden sollten drei GPS-Handempfänger hauptsächlich auf ihre Messgenauigkeit und Benutzerfreundlichkeit hin. Sinn war oder ist es, Daten auf Basis einer GPS-Messung für den Aufbau und der Vervollständigung eines bereits bestehenden GIS zu sammeln und auszuwerten. Ferner ging es zu ermitteln, ob ein solches System bestehende Leitungsortungsgeräte positiv unterstützen bzw. teilweise ablösen könnte.

Getestet wurden der GeoXH von Trimble, der GMS-2 von Topcon und der MobileMapper CE von Thales. Die Messungen fanden unter verschiedenen örtlichen Messbedingungen statt, um einen Durchschnittswert der zu erreichbaren Lagegenauigkeit zu erlangen. Beim Messvorgang und der anschließenden Auswertung der Daten wurde auf die Benutzerfreundlichkeit und Handhabung der Geräte geachtet. Die einzelnen Softwarepakete unterlagen parallel dazu einer Prüfung hinsichtlich ihres Leistungsumfangs.

Hierbei stellte sich heraus das zwei Geräte vergleichbare Genauigkeiten im Mittel von ca. 50 cm erreichten. Der MobileMapper CE von Thales wurde aus Mangel an Messtauglichkeit für eine DGPS-Messung aus der Wertung genommen.

Unterschiede wurden deutlich beim Leistungsumfang der Software sichtbar. Der GeoXH von Trimble kristallisierte sich hier stark als das fähigste Gerät heraus, da er das beste Leistungspaket aus Software, gepaart mit einer guten Handhabung und Bedienerfreundlichkeit bietet. Zudem erfüllt er fast alle Kriterien des Anforderungsprofils der Stadtwerke Waren.

Ergebnis der Untersuchungen ist, dass ein Einfrequenz-Empfänger hervorragend dazu geeignet ist, vorhandene Leitungsortungssysteme unter bestimmten Voraussetzungen zu unterstützen und sogar teilweise abzulösen. Zur Datensammlung als Zuarbeit für ein GIS sind diese GPS-Systeme nicht einsetzbar, da die Genauigkeit nicht den Maßgaben entspricht.

## I. Literaturverzeichnis

### BÜCHER / SCHRIFTENREIHEN

- [BAUER, 2003] Bauer, M. (2003): Vermessung und Ortung mit Satelliten, 5. Auflage, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg
- [BULL, 2001] Bull, R. (2001): GPS-Referenzstationsdienste, VDV Schriftenreihe Bd. 19, Verlag Chmielorz GmbH, Wiesbaden
- [FORMELN, 1998] Formeln und Tabellen für die Sekundarstufen I und II, 6. Auflage, Paetec, Berlin
- [KNICKMEYER, 2003] Knickmeyer, E. T. (2003): Einführung in die Navigation, Schriftenreihe B: Bd. 6
- [KNIESZ, 2001] Kniesz, J.; Krause, A.; Sens, I. (2001): Chronik der Stadtwerke Waren GmbH; CITY-DRUCK Hoffmann GmbH, Waren (Müritz)
- [MANSFELD, 1998] Mansfeld, W. (1998): Satellitenortung und Navigation, 1. Auflage, Vieweg Verlag, Braunschweig
- [SEEBER, 1989] Seeber, G. (1989): Satellitengeodäsie, 1. Auflage, De Gruyter, Berlin, New York
- [WANNINGER, 2004] Wanninger, L. (2004): Netz-RTK in „GPS und Galileo – Methoden, Lösungen und neueste Entwicklungen“, 66. DVW-Seminar, Darmstadt, DVW-Schriftenreihe Band 49/2006, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 59-69  
[http://www.zentrale-stelle-sapos.de/Wanninger%2006\\_2004.pdf](http://www.zentrale-stelle-sapos.de/Wanninger%2006_2004.pdf)

### SKRIPTE

- [LANDESVERM,2006] Knickmeyer, E. T. (WS 2005/2006): Landesvermessung
- [TUM, 2007] Hugentobler, U.;Steigenberger, P. (WS 2007/2008): Satellitengeodäsie; Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie; TU München  
[tau.fesg.tu-muenchen.de/~iapg/web/lehre/veranstaltungen/veranstaltungen/studienplan/SatGeod1\\_Kap2\\_07.pdf](http://tau.fesg.tu-muenchen.de/~iapg/web/lehre/veranstaltungen/veranstaltungen/studienplan/SatGeod1_Kap2_07.pdf)

### PRÄSENTATIONEN / PDF-DOKUMENTE / ZEITSCHRIFTEN

- [allsat08] GNSS – Grundlagen  
[www.allsat.de/download/Tutorials/ALLSAT\\_GNSS\\_Grundlagen\\_Tutorial\\_de.pdf](http://www.allsat.de/download/Tutorials/ALLSAT_GNSS_Grundlagen_Tutorial_de.pdf)
- [gali08] Eissfeller,B. und Schüler, T.  
Das Europäische Satellitennavigationssystem GALILEO;  
Institut für Erdmessung und Navigation;  
UNI der Bundeswehr München  
<http://forschung.unibw.de/papers/mi9nfejn0s3x9d6gyha0tfz9hefz5t.pdf>
- [galvie08] 7 Galileo (Seite 279 – 296)  
[www.vieweg.de/freebook/978-3-528-16886-5\\_1.pdf](http://www.vieweg.de/freebook/978-3-528-16886-5_1.pdf)
- [gnss08] Wienholz, K. (GEO Information Consult GmbH):  
GNSS – Global Navigation Satellite System;  
SAPOS-Fortbildung 27.03.2003

- [guide08] [www.survey.tu-berlin.de/gielsdorf/skripte/gnss\\_1.pdf](http://www.survey.tu-berlin.de/gielsdorf/skripte/gnss_1.pdf)  
Basic GPS Data Capture Using TerraSync – A Quick Start Guide  
[www.nps.gov/gis/gps/GeoXT\\_QuickStart.pdf](http://www.nps.gov/gis/gps/GeoXT_QuickStart.pdf)
- [ipgd08] Becker, M. (2007): Globale Satellitennavigationssysteme  
Wo stehen wir heute?; Institut für Physikalische Geodäsie; TU Darmstadt  
[www.intergeo.de/archiv/2007/Becker.pdf](http://www.intergeo.de/archiv/2007/Becker.pdf)
- [gpsv08] Kettemann, R.: GPS-Verfahren – Einsatzgebiete – Rahmenbedingungen – Kombinationslösungen; Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik  
[www.fht-stuttgart.de/fbv/fbvweb/veranstaltungen/GPS\\_fuer\\_GIS/pdf\\_Tagungsband/High/Bericht\\_Kettemann.pdf](http://www.fht-stuttgart.de/fbv/fbvweb/veranstaltungen/GPS_fuer_GIS/pdf_Tagungsband/High/Bericht_Kettemann.pdf)
- [lgb00] Leica GPS Basics – Einführung in die GPS  
<http://bintserv.fh-trier.de/Personal/lehmann/GPSBASIC.PDF>
- [read08] Kalter Krieg der Navigationssysteme – GLONASS ist einsatzfähig (Freitag, 4. Januar 2008)  
[www.readers-edition.de](http://www.readers-edition.de)
- [terra08] TerraSync Software Reference Manual  
<http://tr1.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-356361/TerraSyncReferenceManual.pdf>
- [zogg08] Zogg, J.-M. (2006): Von GPS zu Galileo – Die Weiterentwicklung der Satelliten-Navigation Teil 2  
[http://telecom.tlab.ch/~zogg/Dateien/Von\\_GPS\\_zu\\_Galileo\\_Teil\\_2.pdf](http://telecom.tlab.ch/~zogg/Dateien/Von_GPS_zu_Galileo_Teil_2.pdf)

## INTERNETADRESSEN

- [abc08] [www.radiodetection.de/rdcmsde/medien/ABC\\_Ortungstechnik.pdf](http://www.radiodetection.de/rdcmsde/medien/ABC_Ortungstechnik.pdf)
- [ascos08] [www.ascos.de](http://www.ascos.de)
- [dete08] [www.detector-trade.de](http://www.detector-trade.de)
- [esa08] [www.esa.int](http://www.esa.int)
- [geor08] [www.georadar-gbr.com/anwendungen/leitungsortung.html](http://www.georadar-gbr.com/anwendungen/leitungsortung.html)
- [gfz08] [www.gfzpotsdam.de](http://www.gfzpotsdam.de)
- [gis08] [www.gis.univie.ac.at](http://www.gis.univie.ac.at)
- [kowo08] [www.kowoma.de](http://www.kowoma.de)
- [lind08] [www.lindenberg-ortungstechnik.com](http://www.lindenberg-ortungstechnik.com)
- [magellan08] [www.pro.magellanGPS.com](http://www.pro.magellanGPS.com)
- [meix08] [www.meixner.com/mainpages/aktuell\\_bodenradar.htm](http://www.meixner.com/mainpages/aktuell_bodenradar.htm)
- [piet08] [www.pietschwt.de](http://www.pietschwt.de)
- [sapos08] [www.sapos.de](http://www.sapos.de)
- [sewerin08] [www.sewerin.com](http://www.sewerin.com)
- [thales08] [www.thalesnavigation.de](http://www.thalesnavigation.de)
- [topcon08] [www.topcon.de](http://www.topcon.de)
- [trimble08] [www.trimble.com](http://www.trimble.com)
- [wien08] [www.wienold-gmbh.de](http://www.wienold-gmbh.de)
- [wiki08] [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)
- [wsv08] [www.wsv.de](http://www.wsv.de)

## II. Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1.1: Pulswellengenerator [sewerin08] .....	11
Abb. 2.1.2: Klopfer [sewerin08] .....	12
Abb. 2.2.1.1: Feldlinien eines Magnetfeldes [abc08] .....	13
Abb. 2.2.1.2-1: Minimummethode [abc08] .....	14
Abb. 2.2.1.2-2: Doppelpulsystem [abc08] .....	15
Abb. 2.2.1.3: Bestimmung der Verlegetiefe [abc08] .....	15
Abb. 2.2.1.4: Signalstromstärke [abc08] .....	16
Abb. 2.2.2: Freileitungen [dete08] .....	17
Abb. 2.2.3.1: Leitungsortungsgerät mit Zubehör [lind08] .....	18
Abb. 2.2.3.2: Schubstange mit Sonde [lind08] .....	19
Abb. 2.2.3.3: Molch mit eingebautem aktivem Magnetfeldsender [lind08] .....	21
Abb. 2.2.3.4-1: Radargramm [geor08] .....	22
Abb. 2.2.3.4-2: Bodenradargerät [meix08] .....	22
Abb. 3.2.1.1-1: GPS-Block I Satellit [kowo08] .....	25
Abb. 3.2.1.1-2: GPS-Block IIF Satellit [kowo08] .....	26
Abb. 3.2.1.2-1: Satellitenbahnen [kowo08] .....	26
Abb. 3.2.1.2-2: Inklination der Umlaufbahnen [kowo08] .....	27
Abb. 3.2.2: Monitorstationen und Master Control Station [kowo08] .....	27
Abb. 3.4.1: Kleine Atomuhr [kowo08] .....	31
Abb. 3.4.4-1: Codierung der GPS-Signale [allsat08] .....	32
Abb. 3.4.4.3: Struktur der GPS-Navigationsdaten eines „frames“ [kowo08] .....	33
Abb. 3.4.4-2: GPS-Signal- und Datenstruktur [gis08] .....	34
Abb. 3.6.1.1: Mehrwegeausbreitung [lgb00] .....	36
Abb. 3.6.1.3: Antennenphasenzentrum [BULL, 2001] .....	37
Abb. 3.6.2.1: Längere Laufzeit des Satellitensignals bei geringer Elevation [lgb00] .....	38
Abb. 3.6.3: DOP-Werte in Abhängigkeit der Satellitengeometrie [SEEBER, 1996] .....	40
Abb. 3.7.1: Prinzip der absoluten Positionierung [gfz08] .....	41
Abb. 3.7.2: Prinzip der relativen Positionierung [gfz08] .....	42
Abb. 3.10.2: Format der Kopfinformation [MANSFELD, 1998] .....	46
Abb. 3.11.3.1-1: SAPOS®-Referenzstationen in Mecklenburg Vorpommern [sapos08] .....	50
Abb. 3.11.3.1-2: SAPOS® - ein Überblick [sapos08] .....	52
Abb. 3.11.3.2-1: ascos-Dienste ein Überblick [ascos08] .....	52
Abb. 3.11.3.2-2: Übersicht des Referenznetzes ascos ED [ascos08] .....	53
Abb. 3.11.3.3: Stationen der Wasser und Schifffahrtsverwaltung [wsv08] .....	54
Abb. 3.11.3.4: Position und Abdeckungsbereich der EGNOS-Satelliten [kowo08] .....	55
Abb. 4.2: Stationen des GLONASS Überwachungs- und Kontrollsystems [BAUER, 2003] .....	57
Abb. 4.3-1: Galileo Bodensegment [gali08] .....	59
Abb. 4.3-2: GIOVE-A erste Testsatellit [esa08] .....	60
Abb. 4.3-3: Frequenzbänder von GPS, GLONASS und Galileo [gnss08] .....	61
Abb. 5.3.1-1: Trimble 5800 .....	69
Abb. 5.3.1-2: Trimble 5503 RD 2000+ .....	70
Abb. 5.4.1-1: Beispiel für Qualität der TS-Messung .....	72
Abb. 5.4.1-2: Beispiel für Qualität der GPS-Messung .....	73
Abb. 5.4.1-3: Beispiel für Transformation „GPS-Kalibrierung“ .....	74
Abb. 6.1.2.2-1: Nesselberg Parkanlage – freies Feld .....	77
Abb. 6.1.2.2-2: Alt Falkenhagen – mittlere Abschattung .....	77
Abb. 6.1.2.2-3: Nesselberg Waldweg – hohe Abschattung .....	78
Abb. 6.3: Trimble GeoXH .....	80
Abb. 6.4: Topcon GMS-2 .....	92
Abb. 6.5: Thales MobileMapper CE .....	99
Abb. 7.5-1: GPS – Grundeinstellungen [guide08] .....	111
Abb. 7.5-2: GPS – Einstellungen [guide08] .....	112
Abb. 7.5-3: Status - Skyplot [guide08] .....	113
Abb. 7.5-4: Navigation [terra08] .....	114

### III. Tabellenverzeichnis

Tab. 2: Vor- und Nachteile der Leitungsortungsverfahren .....	23
Tab. 3.10.3: Erläuterungen eines GGA-Datensatzes [thales08] .....	47
Tab. 4: Übersicht der drei Satellitensysteme GPS, GLONASS und Galileo [zogg08] .....	62
Tab. 5.4.2: Abweichungen zur Solllage .....	75
Tab. 6.3: Technische Daten Trimble GeoXH [trimble08] .....	80
Tab. 6.3.2.1: Prozentualer Aufschluss über die erreichbare Genauigkeit .....	83
Tab. 6.3.2.3: Abweichungen zu den Sollwerten – GeoXH – Post-Processing .....	86
Tab. 6.3.3.2: Abweichungen zu den Sollwerten – GeoXH - Echtzeit .....	90
Tab. 6.4: Technische Daten Topcon GMS-2 [topcon08] .....	93
Tab. 6.4.3: Abweichungen zu den Sollwerten – GMS-2 - Echtzeit .....	96
Tab. 6.5: Technische Daten Thales MobileMapper CE [thales08; magellan08] .....	99
Tab. 7.1: Vor- und Nachteile – GPS-Handempfänger vs. Leitungsortungsgeräte .....	105
Tab. 7.3: Vergleich der getesteten Handempfänger hinsichtlich des Anforderungsprofils .....	108

## IV. Abkürzungsverzeichnis

ALF	<b><i>Accurate Positioning by Low Frequency</i></b> , Übertragungsdienst
AMDS	<b>Amplituden Moduliertes Daten System</b> , Übertragungsdienst
ASCII	<b><i>American Standard Code for Information Interchange</i></b> , Standard-Code für Schriftzeichen
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AP	Aufnahmepunkt
ascos	Referenzstationsdienste der AXIO-NET GmbH in Hannover
ascos-ED	Echtzeitdienst
ascos-PED	präziser Echtzeitdienst
AZ	Asbestzement
C/A-Code	<b><i>Clear Acquisition-Code</i></b> , grobe Positionsbestimmung
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
CDMA	<b><i>Code Division Multiple Access</i></b> , Codemultiplexverfahren
CS	<b><i>Commercial Service</i></b> , kommerzielle Dienst (Galileo)
DGPS	Differentielles GPS
DoD	<b><i>Department of Defense</i></b> , amerikanisches Verteidigungsministerium
DOP	<b><i>Dilution of Precision</i></b> , Verdünnung der Präzision
DXF	<b><i>Drawing Interchange Format</i></b> , Dateiformat zum CAD-Datenaustausch
EGNOS	<b><i>European Geostationary Navigation Overlay System</i></b> , satellitengestützter DGPS
ETRS89	<b><i>European Terrestrial Reference System 1989</i></b> , europäisches Referenzsystem
EUREF	Europäisches Referenznetz
FDMA	<b><i>Frequency Division Multiple Access</i></b> , Frequenzmultiplexverfahren
FKP	Flächenkorrekturparametern
Galileo	europäisches Navigationssystem
GIOVE	<b><i>Galileo In-Orbit Validation Element</i></b> , Testsatellit
GLONASS	<b><i>GLObal'naya NAVigatsioannaya Sputnikovaya Sistema</i></b> , russisches Navigationssystem
GPRS	<b><i>General Packet Radio Service</i></b> , paketorientierte Übertragungsdienst
GPS	<b><i>Global Positionierung System</i></b> , satellitengestützte Navigationssystem
GREF	Geodätisches Referenznetz in Deutschland
GSM	<b><i>Global System for Mobile Communication</i></b> , Standard für volldigitale Mobilfunknetze
http	<b><i>Hypertext Transfer Protocol</i></b> , Hypertext-Übertragungsprotokoll
IERS	<b><i>International Earth Rotation Service</i></b> , Internationale Dienst für Erdrotation und Referenzsysteme
IGS	Internationaler GPS Service
IALA	<b><i>International Association of Lighthouse Authorities</i></b> , Internationaler Verband der Seezeichenverwaltungen
ITRS	<b><i>International Terrestrial Reference System</i></b> , Internationales Terrestrisches Referenzsystem
LAIV	Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg Vorpommern
LG	Lagegenauigkeit
LZ	Lagezuverlässigkeit
MSAS	<b><i>Multi-Transport-Satellite based Augmentation System</i></b> , satellitengestützter DGPS
NAVSTAR	<b><i>Navigation System for Timing and Ranging</i></b> , Ortungs- und Navigationssystem

---

NGA	<b>National Geospatial-Intelligence Agency</b> , Nationale Agentur für Geographische Aufklärung
NTRIP	<b>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</b> , Datenformat
NMEA	<b>National Marine Electronics Association</b> , Datenformat
NNSS	<b>Navy Navigation Satellite System</b> , ehemaliges Satellitensysteme für Positionsbestimmung (TRANSIT)
OS	<b>Open Service</b> , offener Dienst (Galileo)
P-Code	<b>Precise-Code</b> , präzise Positionsbestimmung
PE	Polyethylen
PRN-Code	<b>Pseudo Random Noise</b> , Pseudozufalls-Code
PRS	<b>Public Regulated Service</b> , öffentlich regulierte Dienst (Galileo)
PVC	Polyvinylchlorid
PWG	Pulswellengenerator
RASANT	<b>Radio Aided Satellite Navigation Technique</b> , Datenformat
RIMS	<b>Ranging and Integrity Monitor Stations</b> , GPS-Empfangsstationen (EGNOS)
RINEX	<b>Receiver INdependent Exchange</b> , Datenformat
RMS	<b>Root Mean Square</b> , quadratischer mittlerer Fehler
RTCM	<b>Ratio Technical Commission for Maritime Services</b> , Datenformat
RTK	<b>Real-Time-Kinematic</b> , Echtzeitkinematik
S42/83 GK	3° Streifensystem 42/83 Gauß-Krüger – Krassowski-Ellipsoid
SAPOS®	Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung
SAPOS®-EPS	Echtzeit-Positionierungs-Service
SAPOS®-HEPS	Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service
SAPOS®-GPPS	Geodätischer Präziser Positionierungs-Service
SAPOS®-GHPSS	Geodätischer Hochpräziser Positionierungs-Service
SAR	<b>Search and Rescue</b> , Such- und Rettungsdienst (Galileo)
Sol	<b>Safety of Life Service</b> , verschlüsselte sicherheitskritische Dienst (Galileo)
GIS	Geografisches Informationssystem
SHAPE	Dateiformat für Geodaten
SNR	<b>Signal-to-Noise-Ratio</b> , Signal-Rausch-Verhältnis
TEC	<b>Total Electron Content</b> , Gesamtelektronenmenge (EGNOS)
TGO	<b>Trimble Geomatics Office</b> , Software
UKW	Ultrakurzwellen
USB	<b>Universal Serial Bus</b> , Bussystem für Computer
UTC	<b>Universal Time Coordinated</b> , Koordinierte Weltzeit
VPR	Vermessungs-Programme-Riener, Software
VRS	Virtuelle Referenzstation
WAAS	<b>Wide Area Augmentation System</b> , satellitengestützter DGPS
WGS84	<b>World Geodetic System 1984</b> , Koordinatensystem
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

---

## V. Anlagenverzeichnis

Die Anlagen befinden sich in einem separaten Ordner auf der beiliegenden CD und sind zum Teil der Diplomarbeit beigefügt.

<b>A: Leitungsleitungsortung .....</b>	<b>125</b>
A1: Berechnung der Lageabweichungen .....	125
A2: Plots der Leitungsleitungsortung .....	127
A2.1: Plot Alt Falkenhagen (M 1:700) .....	127
A2.2: Plot Nesselberg Waldweg (M 1:500) .....	128
A2.3: Plot Stadtwerke (M 1:500) .....	129
A3: Koordinatenverzeichnis Leitungsleitungsortung .....	130
A4: Inhalt des Ordners Leitungsleitungsortung auf der CD .....	132
<b>B: GPS-Handempfänger .....</b>	<b>133</b>
B1: Festlegung der Messprozedur .....	133
B2: Trimble GeoXH .....	135
B2.1: Berechnungen der Lageabweichungen im Post-Processing .....	135
B2.2: Berechnungen der Lageabweichungen in Echtzeit .....	137
B2.3: Plots .....	139
B2.3.1: Plot Alt Falkenhagen (M 1:700) .....	139
B2.3.2: Plot Nesselberg Park (M 1:500) .....	140
B2.3.3: Plot Nesselberg Waldweg (M 1:500) .....	141
B3: Topcon GMS-2 .....	142
B3.1: Berechnungen der Lageabweichungen in Echtzeit .....	142
B3.2: Plots .....	144
B3.2.1: Plot Alt Falkenhagen (M 1:700) .....	144
B3.2.2: Plot Nesselberg Park (M 1:500) .....	145
B3.2.3: Plot Nesselberg Waldweg (M 1:500) .....	146
B4: Koordinatenverzeichnis GPS-Handempfänger .....	147
B5: Inhalt des Ordners GPS-Handempfänger auf der CD .....	151

**A: Leitungsortung**  
**A1: Berechnung der Lageabweichungen**

Legende:	durchschnittl. Abweichung	größte Abweichung	Standardabweichung
----------	---------------------------	-------------------	--------------------

Methode der Ortung:	Leitungsortung durch Magnetfeldbesendung		
Leitungsart:	Stromkabel (NEY-J 4x150 mm <sup>2</sup> )		
Ort:	Alt Falkenhagen		
Datum:	25.03.2008		

berechnete Absteckelemente		Standardabweichung	
Pkt.nr.	d [cm]	dd [cm <sup>2</sup> ]	
8100	23,2	538,2	
8101	41,5	1722,3	
8102	31,1	967,2	
8103	43,9	1927,2	
8104	28,6	818,0	
8105	44,3	1962,5	
8106	31,8	1011,2	
8107	39,0	1521,0	
8108	34,7	1204,1	
8109	45,4	2061,2	
8110	15,2	231,0	
8111	20,2	408,0	
8112	26,8	718,2	
8113	21,1	445,2	
Summe	446,8	15535,4	
Mittel	<b>31,9</b>	<b>33,3</b>	

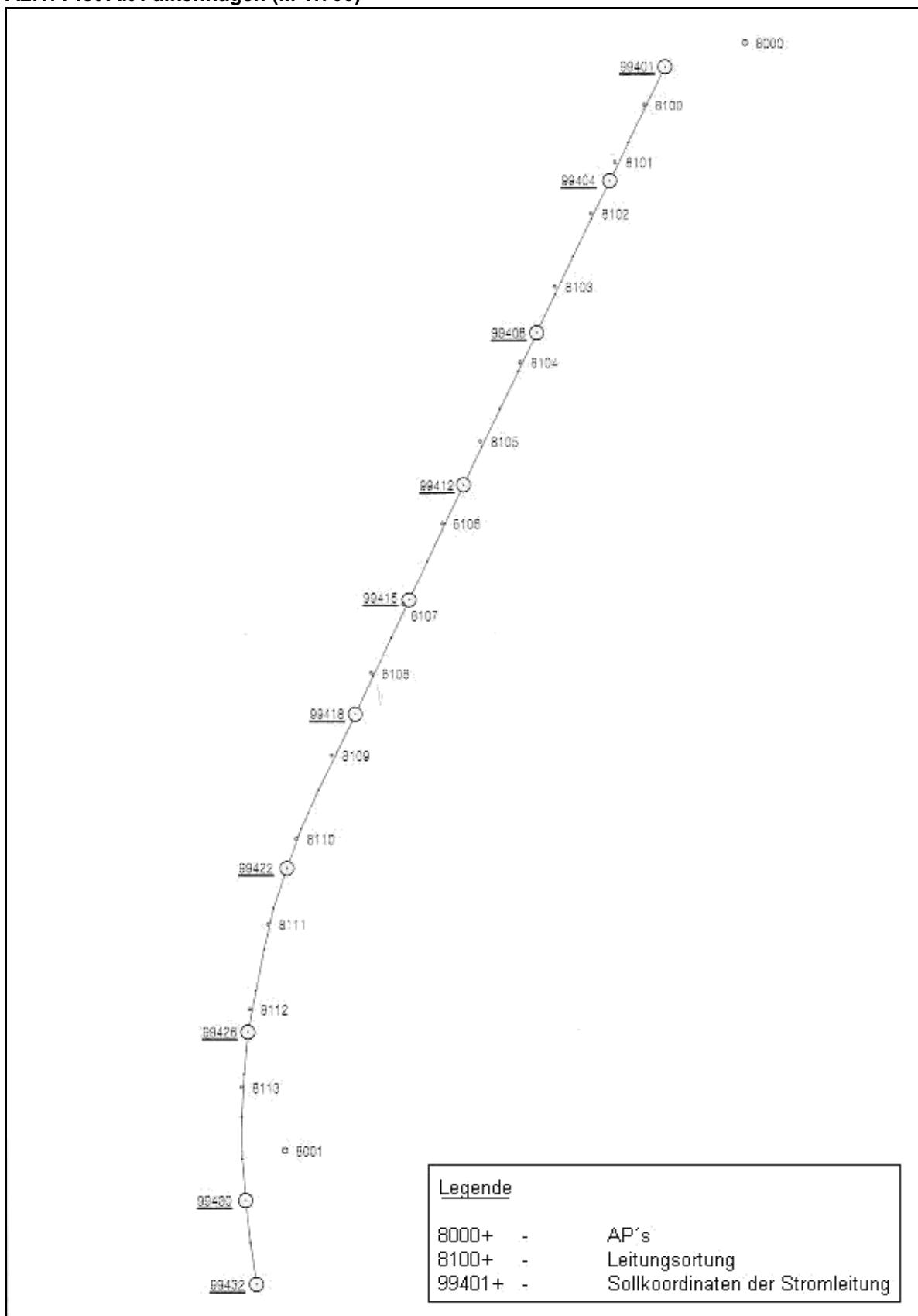
Methode der Ortung:	Impulswellenverfahren		
Leitungsart:	Trinkwasserleitung (PE-HD 110x10)		
Ort:	Nesselberg Waldweg		
Datum:	03.04.2008		

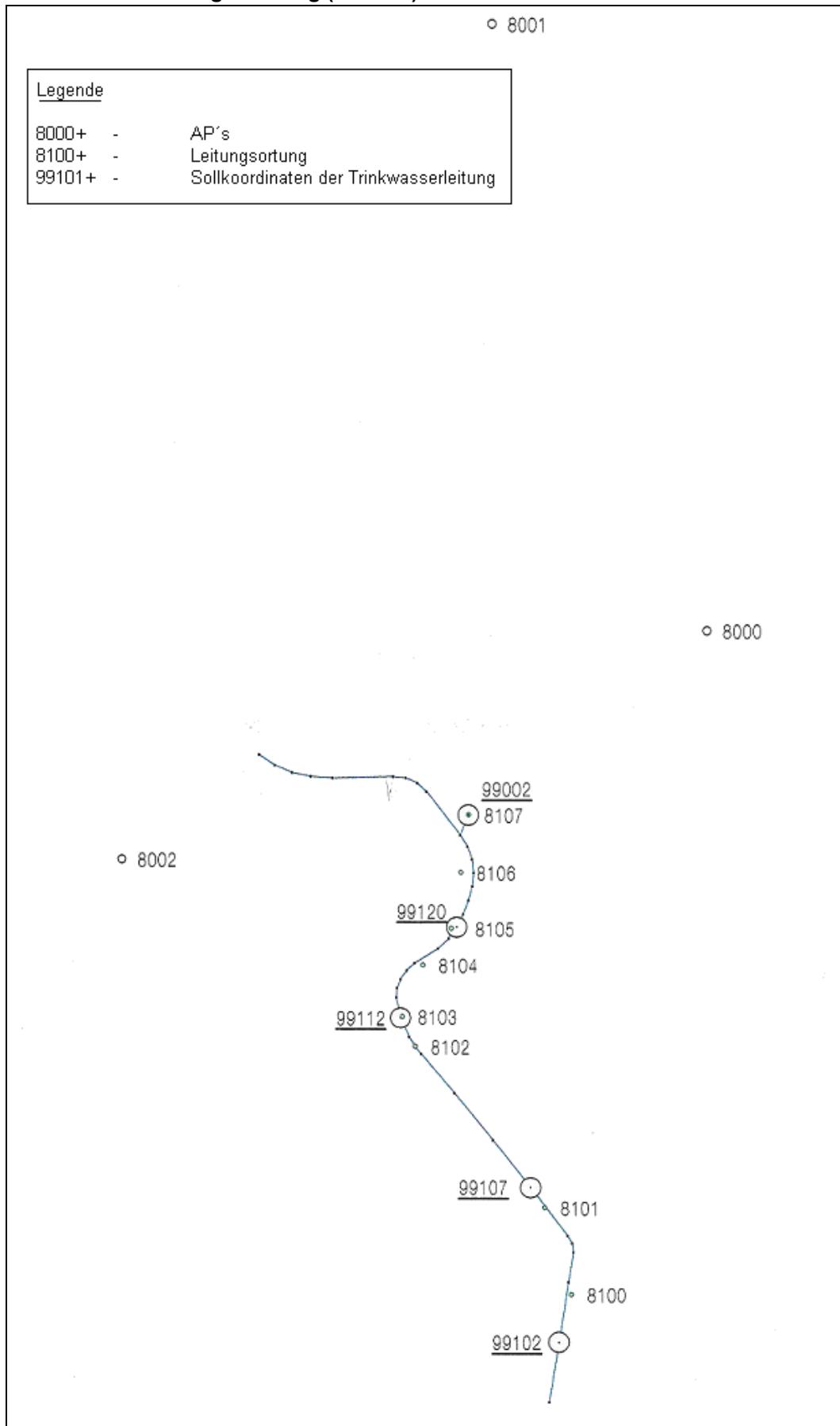
  

berechnete Absteckelemente		Standardabweichung	
Pkt.nr.	d [cm]	dd [cm <sup>2</sup> ]	dd [cm <sup>2</sup> ]
8100	39,3		1544,5
8101	7,7		59,3
8102	3,7		13,7
8103	16,7		278,9
8104	49,1		2410,8
8105	31,3		979,7
8106	102,0		10404,0
Summe	<b>249,8</b>		15690,9
Mittel	<b>35,7</b>		<b>47,3</b>

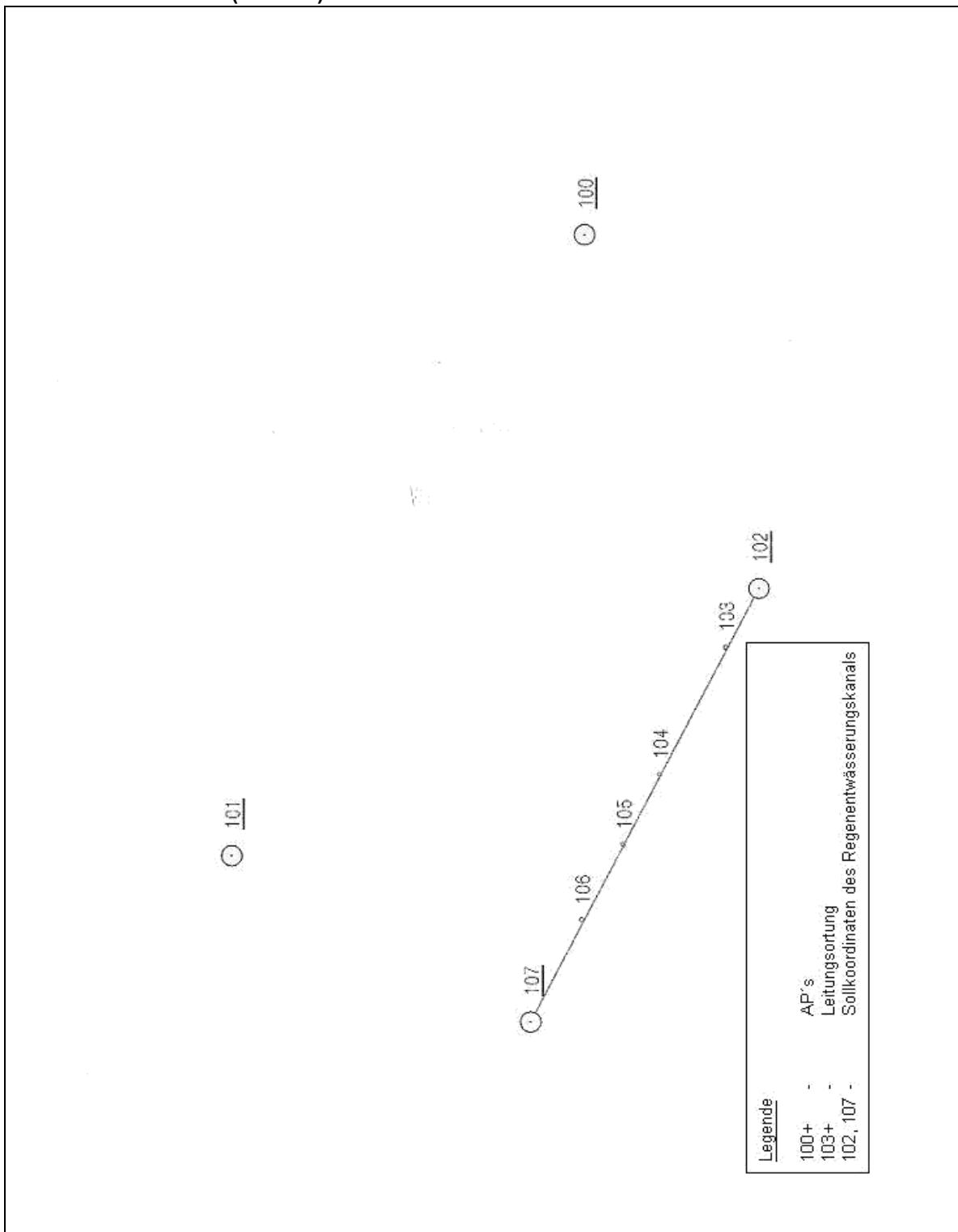
<b>Methode der Ortung:</b>	Leitungsortung mit der Schubsonde
<b>Leitungsart:</b>	Regenentwässerungskanal
<b>Ort:</b>	Gelände Stadtwerke
<b>Datum:</b>	21.04.2008

berechnete Absteckelemente		Standardabweichung
Pkt.nr.	<b>d</b> [cm]	<b>dd</b> [cm <sup>2</sup> ]
103	17,4	302,8
104	11,8	139,2
105	6,1	37,2
106	21,3	453,7
Summe	<b>56,6</b>	932,9
Mittel	<b>14,2</b>	<b>15,3</b>

**A2: Plots der Leitungsortung****A2.1: Plot Alt Falkenhagen (M 1:700)**

**A2.2: Plot Nesselberg Waldweg (M 1:500)**

## A2.3: Plot Stadtwerke (M 1:500)



**A3: Koordinatenverzeichnis Leitungsortung**

KATASTER- UND VERMESSUNGSAKT MÜRITZ

PROJEKT	#DIPLOM	GEMARKUNG	Waren
BEARBEITER	B.Falge	FLUR	

K O O R D I N A T E N V E R Z E I C H N I S

Erstellt am 27-JUN-2008 mittels HP9000/700 durch

KVA Landkreis Müritz

Seite 1/2

LS	KMQ	P	PNR	PNR (alt)	VMA	RECHTS	HOCH	L L	LBJ	BNR	
A											G Z

Gelände Stadtwerke

AP's

150 4333 1 00100	020 4543667.153	5933501.824	2	2	008	0
150 4333 1 00101	020 4543616.511	5933530.418	2	2	008	0
Leitungsortung						
150 4333 3 00103	071 4543633.629	5933490.308	2	2	008	0
150 4333 3 00104	071 4543623.274	5933495.661	2	2	008	0
150 4333 3 00105	071 4543617.522	5933498.605	2	2	008	0
150 4333 3 00106	071 4543611.388	5933501.985	2	2	008	0
Sollkoordinaten des Regenentwässerungskanals						
150 4333 1 00102	020 4543638.407	5933487.613	2	2	008	0
150 4333 1 00107	020 4543603.029	5933506.117	2	2	008	0

Alt Falkenhagen

AP's

150 4539 1 08000	020 4545559.184	5939158.868	2	2	008	1
150 4539 1 08001	020 4545504.597	5939027.654	2	2	008	1
Leitungsortung						
150 4539 3 08100	071 4545547.265	5939151.471	2	2	008	1
150 4539 3 08101	071 4545543.774	5939144.733	2	2	008	1
150 4539 3 08102	071 4545540.912	5939138.649	2	2	008	1
150 4539 3 08103	071 4545536.593	5939129.970	2	2	008	1
150 4539 3 08104	071 4545532.474	5939121.042	2	2	008	1
150 4539 3 08105	071 4545527.769	5939111.671	2	2	008	1
150 4539 3 08106	071 4545523.268	5939101.970	2	2	008	1
150 4539 3 08107	071 4545518.665	5939092.427	2	2	008	1
150 4539 3 08108	071 4545514.849	5939084.228	2	2	008	1
150 4539 3 08109	071 4545510.113	5939074.511	2	2	008	1
150 4539 3 08110	071 4545505.965	5939064.586	2	2	008	1
150 4539 3 08111	071 4545502.627	5939054.450	2	2	008	1
150 4539 3 08112	071 4545500.481	5939044.395	2	2	008	1
150 4539 3 08113	071 4545499.467	5939035.143	2	2	008	1

Sollkoordinaten der Stromleitung

150 4539 1 99401	020 4545549.709	5939156.022	2	2	008	1
150 4539 1 99404	020 4545543.158	5939142.528	2	2	008	1
150 4539 1 99408	020 4545534.470	5939124.513	2	2	008	1
150 4539 1 99412	020 4545525.780	5939106.501	2	2	008	1
150 4539 1 99415	020 4545519.343	5939092.952	2	2	008	1
150 4539 1 99418	020 4545512.950	5939079.382	2	2	008	1
150 4539 1 99422	020 4545504.881	5939061.103	2	2	008	1
150 4539 1 99426	020 4545500.233	5939041.682	2	2	008	1
150 4539 1 99430	020 4545499.913	5939021.726	2	2	008	1
150 4539 1 99432	020 4545501.188	5939011.809	2	2	008	1

KATASTER- UND VERMESSUNGSAKT MÜRITZ  
 PROJEKT #DIPLOM GEMARKUNG Waren  
 BEARBEITER B.Falge FLUR  
 K O O R D I N A T E N V E R Z E I C H N I S  
 Erstellt am 27-JUN-2008 mittels HP9000/700 durch  
 KVA Landkreis Müritz

Seite 2/2

LS	KMQ	P	PNR	PNR (alt)	VMA	RECHTS	HOCH	L	L	B	BNR
								L	B	J	
								G	Z		

Nesselberg Waldweg

## AP's

150 4631 1 08000	020	4546197.834	5931298.557	2	2	008	1
150 4631 1 08001	020	4546180.236	5931348.530	2	2	008	1
150 4631 1 08002	020	4546149.683	5931279.735	2	2	008	1

## Leitungsortung

150 4631 3 08100	071	4546186.640	5931243.851	2	2	008	1
150 4631 3 08101	071	4546184.458	5931251.023	2	2	008	1
150 4631 3 08102	071	4546173.810	5931264.318	2	2	008	1
150 4631 3 08103	071	4546172.749	5931266.774	2	2	008	1
150 4631 3 08104	071	4546174.446	5931271.034	2	2	008	1
150 4631 3 08105	071	4546176.781	5931274.043	2	2	008	1
150 4631 3 08106	071	4546177.586	5931278.652	2	2	008	1
150 4631 3 08107	071	4546178.222	5931283.401	2	2	008	1

## Sollkoordinaten der Wasserleitung

150 4631 1 99102	020	4546185.612	5931239.932	2	2	008	1
150 4631 1 99107	020	4546183.293	5931252.678	2	2	008	1
150 4631 1 99112	020	4546172.599	5931266.674	2	2	008	1
150 4631 1 99120	020	4546177.232	5931274.138	2	2	008	1
150 4631 1 99002	020	4546178.194	5931283.389	2	2	008	1

**A4: Inhalt des Ordners Leitungsortung auf der CD**

- *Alt Falkenhagen*
  - ~ Messprotokoll Alt Falkenhagen GPS
  - ~ Messprotokoll Alt Falkenhagen TS
  - ~ Absteckelemente Alt Falkenhagen
  - ~ Plot Alt Falkenhagen
- *Nesselberg Waldweg*
  - ~ Messprotokoll Nesselberg Waldweg GPS
  - ~ Messprotokoll Nesselberg Waldweg TS
  - ~ Absteckelemente Nesselberg Waldweg
  - ~ Plot Nesselberg Waldweg
- *Stadtwerke*
  - ~ Messprotokoll Stadtwerke GPS
  - ~ Messprotokoll Stadtwerke TS
  - ~ Absteckelemente Stadtwerke
  - ~ Plot Stadtwerke
- *Sonstiges*
  - ~ Dokument „GPS-Kalibrierung“
  - ~ Berechnungen in Excel
  - ~ Koordinatenverzeichnis Leitungsortung

**B: GPS-Handempfänger****B1: Festlegung der Messprozedur**

Seite 1/2

5 Positionen						Korrigiert						Lageabw.			Die geschätzte Genauigkeit von 50 der korrigierten Positionen beträgt:	
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Δy	Δx	d	[m]	[m]	[m]	Bereich	Prozentsatz
99018	4546192,408	5931319,077	50	4546192,692	5931319,304	-0,284	-0,227	0,364	-0,091	0,375	-	-	-	0-15 cm	100,0 %	
99022	4546202,342	5931322,337	51	4546202,706	5931322,428	-0,364	-0,091	0,375	-0,215	0,323	-	-	-	15-30 cm	-	
99025	4546210,048	5931328,674	52	4546210,289	5931328,889	-0,241	-0,215	0,323	-0,151	-0,398	0,426	-	-	30-50 cm	-	
99028	4546220,772	5931339,161	53	4546220,923	5931339,559	-0,151	-0,398	0,426	-0,095	-0,417	0,428	-	-	0,5-1 m	-	
99031	4546230,757	5931350,335	54	4546230,852	5931350,752	-0,095	-0,417	0,428	-0,151	-0,395	0,423	-	-	1-2 m	-	
99034	4546238,717	5931363,025	55	4546238,868	5931363,420	-0,151	-0,395	0,423	-0,215	-0,415	0,467	-	-	2-5 m	-	
99036	4546242,379	5931372,322	56	4546242,594	5931372,737	-0,215	-0,415	0,467	-0,249	-0,203	0,321	-	-	>5 m	-	
99040	4546245,092	5931381,981	57	4546245,341	5931382,184	-0,249	-0,203	0,321	-0,323	-0,162	0,361	-	-	-	-	
99044	4546245,494	5931392,085	58	4546245,817	5931392,247	-0,323	-0,162	0,361	-0,194	-0,353	0,403	-	-	-	-	
99049	4546241,882	5931403,897	59	4546242,076	5931404,250	-0,194	-0,353	0,403	Mittel	<b>0,389</b>						

10 Positionen						Korrigiert						Lageabw.			Die geschätzte Genauigkeit von 100 der korrigierten Positionen beträgt:	
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Δy	Δx	d	[m]	[m]	[m]	Bereich	Prozentsatz
99018	4546192,408	5931319,077	8250	4546192,567	5931319,475	-0,159	-0,398	0,429	-	-	-	-	-	0-15 cm	20,0 %	
99022	4546202,342	5931322,337	8251	4546202,516	5931322,770	-0,174	-0,433	0,467	-	-	-	-	-	15-30 cm	-	
99025	4546210,048	5931328,674	8252	4546210,233	5931329,036	-0,185	-0,362	0,407	-	-	-	-	-	30-50 cm	-	
99028	4546220,772	5931339,161	8253	4546220,993	5931339,465	-0,221	-0,304	0,376	-	-	-	-	-	0,5-1 m	-	
99031	4546230,757	5931350,335	8254	4546231,013	5931350,735	-0,256	-0,400	0,475	-	-	-	-	-	1-2 m	-	
99034	4546238,717	5931363,025	8255	4546238,998	5931363,535	-0,281	-0,510	0,582	-	-	-	-	-	2-5 m	-	
99036	4546242,379	5931372,322	8256	4546242,580	5931372,638	-0,201	-0,316	0,375	-	-	-	-	-	>5 m	-	
99040	4546245,092	5931381,981	8257	4546245,295	5931382,202	-0,203	-0,221	0,300	-	-	-	-	-	-	-	
99044	4546245,494	5931392,085	8258	4546245,807	5931392,316	-0,313	-0,231	0,389	-	-	-	-	-	-	-	
99049	4546241,882	5931403,897	8259	4546242,101	5931404,007	-0,219	-0,110	0,245	Mittel	<b>0,404</b>						

20 Positionen				Sollkoordinate				Korrigiert				Lageabw.			
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	d
									[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
99018	4546192,408	5931319,077	20	4546192,797	5931319,246	-0,389	-0,169	0,424							
99022	4546202,342	5931322,337	21	4546202,768	5931322,449	-0,426	-0,112	0,440							
99025	4546210,048	5931328,674	22	4546210,481	5931328,749	-0,433	-0,075	0,439							
99028	4546220,772	5931339,161	23	4546221,006	5931339,402	-0,234	-0,241	0,336							
99031	4546230,757	5931350,335	24	4546230,974	5931350,508	-0,217	-0,173	0,278							
99034	4546238,717	5931363,025	25	4546238,958	5931363,234	-0,241	-0,209	0,319							
99036	4546242,379	5931372,322	26	4546242,649	5931372,655	-0,270	-0,333	0,429							
99040	4546245,092	5931381,981	27	4546245,316	5931382,261	-0,224	-0,280	0,359							
99044	4546245,494	5931392,085	28	4546245,678	5931392,221	-0,184	-0,136	0,229							
99049	4546241,882	5931403,897	29	4546242,108	5931403,949	-0,226	-0,052	0,232							
												Mittel			
								0,348							

Die geschätzte Genauigkeit  
von 200 der korrigierten  
Positionen beträgt:

Bereich	Prozentsatz
0-15 cm	90,0 %
15-30 cm	10,0 %
30-50 cm	-
0,5-1 m	-
1-2 m	-
2-5 m	-
>5 m	-

**B2: Trimble GeoXH****B2.1: Berechnungen der Lageabweichungen im Post-Processing**

Seite 1/2

Nesselberg Park				Korrigiert				Lageabw.				Stabw.		Die geschätzte Genauigkeit von 100 der korrigierten Positionen beträgt:	
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	<b>Δy</b> [m]	<b>Δx</b> [m]	<b>d</b> [m]	<b>dd</b> [m <sup>2</sup> ]	Bereich		Prozentsatz			
99018	4546192,408	5931319,077	8250	4546192,567	5931319,475	-0,159	-0,398	0,429	0,184	0-15 cm	80.0 %	15-30 cm	20.0 %		
99022	4546202,342	5931322,337	8251	4546202,516	5931322,770	-0,174	-0,433	0,467	0,218	0-15 cm	-	15-30 cm	-		
99025	4546210,048	5931328,674	8252	4546210,233	5931329,036	-0,185	-0,362	0,407	0,165	30-50 cm	-	0,5-1 m	-		
99028	4546220,772	5931339,161	8253	4546220,993	5931339,465	-0,221	-0,304	0,376	0,141	1-2 m	-	2-5 m	-		
99031	4546230,757	5931350,335	8254	4546231,013	5931350,735	-0,256	-0,400	0,475	0,226	0,5-1 m	-	0,90 m	-		
99034	4546238,717	5931363,025	8255	4546238,998	5931363,535	-0,281	-0,510	<b>0,582</b>	0,339	1-2 m	-	2-5 m	-		
99036	4546242,379	5931372,322	8256	4546242,580	5931372,638	-0,201	-0,316	0,375	0,140	0,90 m	-	2-5 m	-		
99040	4546245,092	5931381,981	8257	4546245,295	5931382,202	-0,203	-0,221	0,300	0,090	0,90 m	-	2-5 m	-		
99044	4546245,494	5931392,085	8258	4546245,807	5931392,316	-0,313	-0,231	0,389	0,151	0,90 m	-	2-5 m	-		
99049	4546241,882	5931403,897	8259	4546242,101	5931404,007	-0,219	-0,110	0,245	0,060	0,90 m	-	2-5 m	-		
								Summe:	4,043	1,714					
								Mittel:	<b>0,404</b>						
										<b>0,414</b>					

Nesselber Waldweg				Korrigiert				Lageabw.				Stabw.		Die geschätzte Genauigkeit von 200 der korrigierten Positionen beträgt:	
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	<b>Δy</b> [m]	<b>Δx</b> [m]	<b>d</b> [m]	<b>dd</b> [m <sup>2</sup> ]	Bereich		Prozentsatz			
99102	4546185,612	5931239,932	8201	4546189,662	5931238,240	-4,050	1,692	<b>4,389</b>	19,265	0-15 cm	-	15-30 cm	-		
99107	4546183,293	5931252,678	8202	4546182,760	5931253,796	0,533	-1,118	1,239	1,534	0-15 cm	-	15-30 cm	-		
99112	4546172,599	5931266,674	8203	4546172,366	5931267,552	0,233	-0,878	0,908	0,825	30-50 cm	60.4 %	0,5-1 m	39.6 %		
99120	4546177,232	5931274,138	8204	4546177,404	5931274,796	-0,172	-0,658	0,680	0,463	1-2 m	-	2-5 m	-		
99002	4546178,194	5931283,389	8205	4546178,432	5931284,115	-0,238	-0,726	0,764	0,584	2-5 m	-	>5 m	-		
								Summe:	7,980	22,671					
								Mittel:	<b>1,596</b>						
										<b>2,129</b>					

Alt Falkenhagen							Die geschätzte Genauigkeit von 200 der korrigierten Positionen beträgt:					
Sollkoordinate			Korrigiert				Lageabw.		Stabw.			
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	$\Delta y$ [m]	$\Delta x$ [m]	$d$ [m]	$dd$ [m <sup>2</sup> ]	Bereich	Prozentsatz	
9104	4545549,709	5939156,022	8201	4545549,999	5939156,537	-0,290	-0,515	0,591	0,349	0-15 cm	-	
99404	4545543,158	5939142,528	8202	4545543,221	5939143,271	-0,063	-0,743	<b>0,746</b>	<b>0,556</b>	15-30 cm	70,0 %	
99408	4545534,470	5939124,513	8203	4545534,932	5939125,008	-0,462	-0,495	0,677	0,458	30-50 cm	30,0 %	
99412	4545525,780	5939106,501	8204	4545526,161	5939106,892	-0,381	-0,391	0,546	0,298	0,5-1 m	-	
99415	4545519,343	5939092,952	8205	4545519,506	5939093,458	-0,163	-0,506	0,532	0,283	1-2 m	-	
99418	4545512,950	5939079,382	8206	4545512,991	5939079,802	-0,041	-0,420	0,422	0,178	2-5 m	-	
99422	4545504,881	5939061,103	8207	4545505,133	5939061,758	-0,252	-0,655	0,702	0,493	>5 m	-	
99426	4545500,233	5939041,682	8208	4545500,468	5939042,094	-0,235	-0,412	0,474	0,225			
99430	4545499,913	5939021,726	8209	4545500,072	5939022,165	-0,159	-0,439	0,467	0,218			
99432	4545501,188	5939011,809	8210	4545501,492	5939012,300	-0,304	-0,491	0,577	0,333			
Summe:							5,734	3,392				
Mittel:							<b>0,573</b>	<b>0,582</b>				

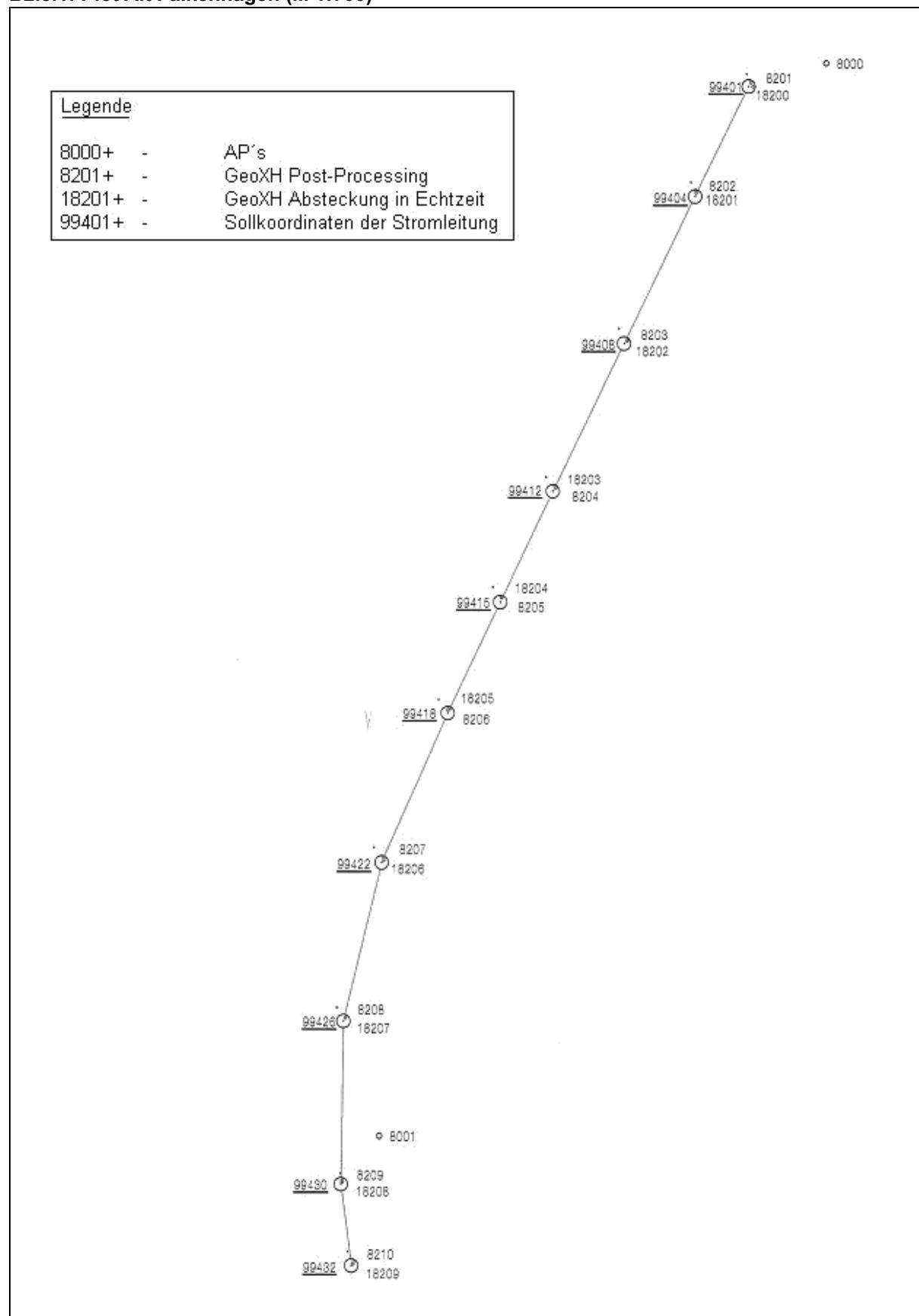
**B2.2: Berechnungen der Lageabweichungen in Echtzeit**

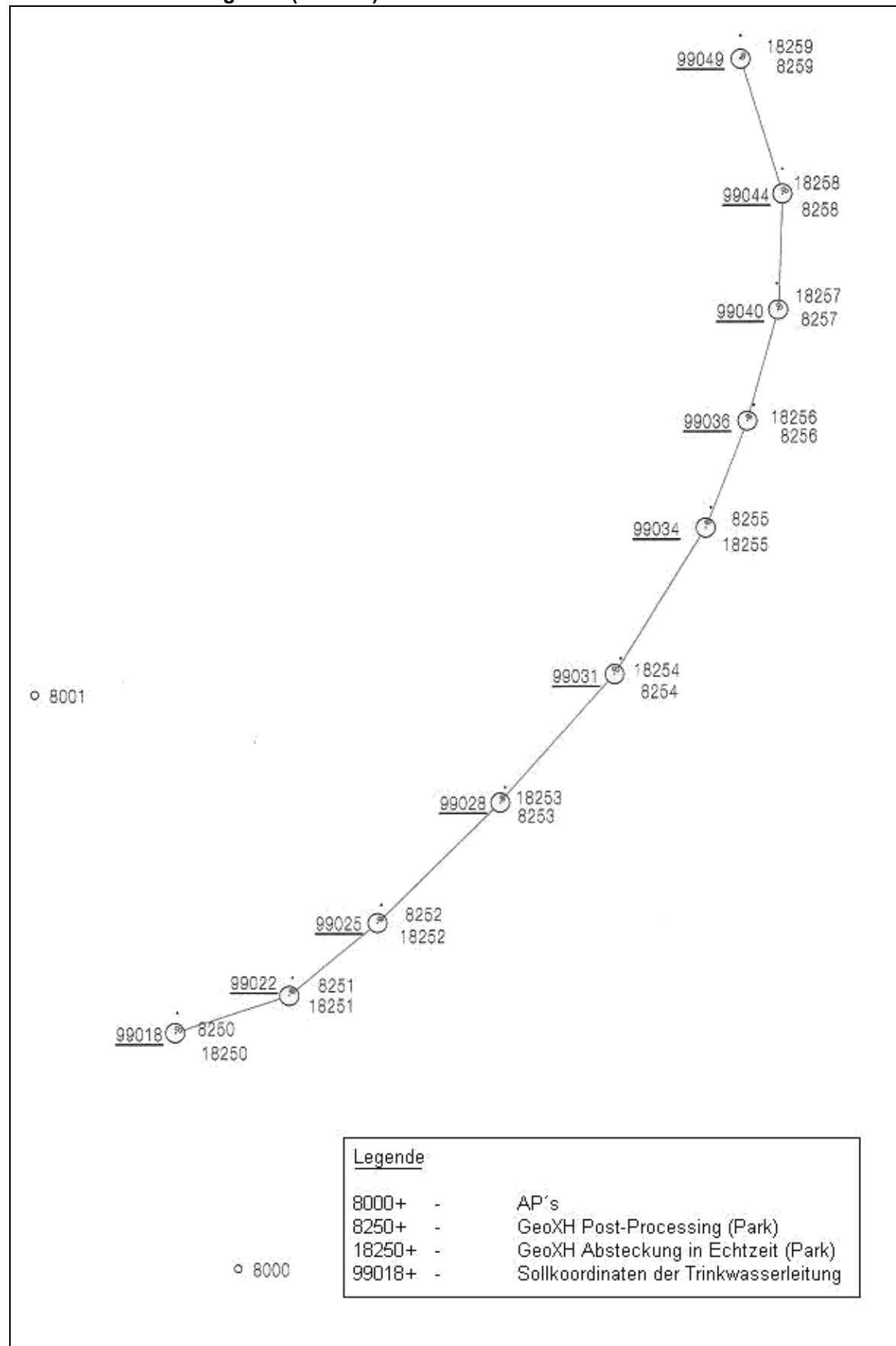
Seite 1/2

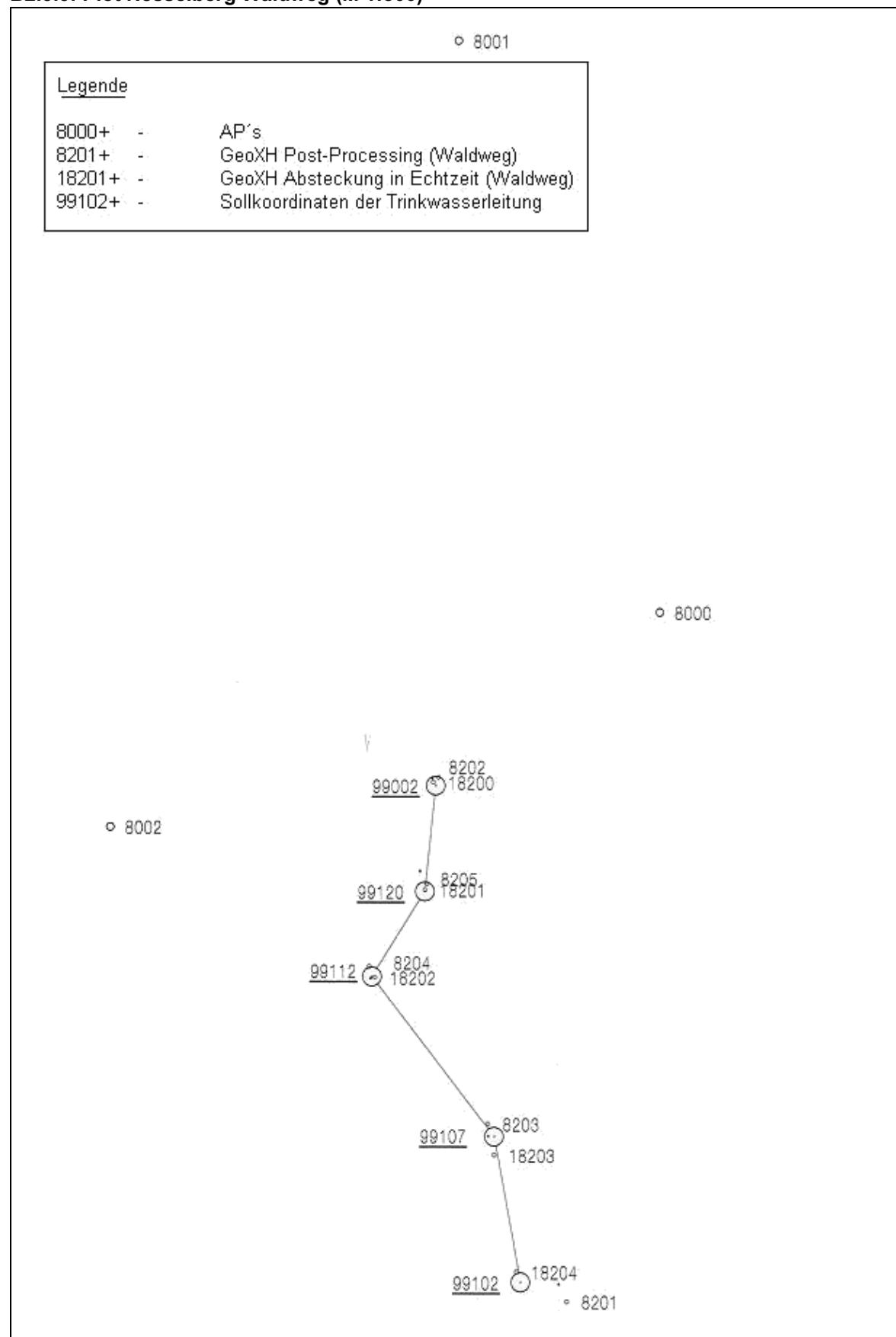
Nesselberg Park				Korrigiert				Lageabw.			Stabw.
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Δy [m]	Δx [m]	d [m]	dd [m <sup>2</sup> ]		
99018	4546192,408	5931319,077	18250	4546192,852	5931319,326	-0,444	-0,249	0,509	0,259		
99022	4546202,342	5931322,337	18251	4546202,681	5931322,710	-0,339	-0,373	0,504	0,254		
99025	4546210,048	5931328,674	18252	4546210,402	5931329,017	-0,354	-0,343	0,493	0,243		
99028	4546220,772	5931339,161	18253	4546220,939	5931339,642	-0,167	-0,481	0,509	0,259		
99031	4546230,757	5931350,335	18254	4546230,737	5931350,785	0,020	-0,450	0,450	0,203		
99034	4546238,717	5931363,025	18255	4546238,813	5931363,491	-0,096	-0,466	0,476	0,226		
99036	4546242,379	5931372,322	18256	4546242,465	5931372,716	-0,086	-0,394	0,403	0,163		
99040	4546245,092	5931381,981	18257	4546245,128	5931382,386	-0,036	-0,405	0,407	0,165		
99044	4546245,494	5931392,085	18258	4546245,583	5931392,440	-0,089	-0,355	0,366	0,134		
99049	4546241,882	5931403,897	18259	4546242,153	5931404,222	-0,271	-0,325	0,423	0,179		
								Summe:	4,540	2,086	
								Mittel:	<b>0,454</b>	<b>0,457</b>	

Nesselber Waldweg				Korrigiert				Lageabw.			Stabw.
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Δy [m]	Δx [m]	d [m]	dd [m <sup>2</sup> ]		
99102	4546185,612	5931239,932	18204	4546185,264	5931240,835	0,348	-0,903	0,968	0,937		
99107	4546183,293	5931252,678	18203	4546183,302	5931251,053	-0,009	1,625	1,625	2,641		
99112	4546172,599	5931266,674	18202	4546172,862	5931266,608	-0,263	0,066	0,271	0,074		
99120	4546177,232	5931274,138	18201	4546177,245	5931274,285	-0,013	-0,147	0,148	0,022		
99002	4546178,194	5931283,389	18200	4546177,977	5931283,682	0,217	-0,293	0,365	0,133		
								Summe:	3,376	3,805	
								Mittel:	<b>0,675</b>	<b>0,872</b>	

Alt Falkenhagen				Sollkoordinate				Korrigiert				Lageabw.		Stabw.
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Δx	Δy	Δz	d	dd	
									[m]	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	
99104	4545549,709	5939156,022	18200	4545550,241	5939155,987	-0,532	0,035	0,533				0,284		
99404	4545543,158	5939142,528	18201	4545543,328	5939142,928	-0,170	-0,400	0,435				0,189		
99408	4545534,470	5939124,513	18202	4545534,864	5939124,803	-0,394	-0,290	0,489				0,239		
99412	4545525,780	5939106,501	18203	4545526,030	5939107,136	-0,250	-0,635	0,682				0,466		
99415	4545519,343	5939092,952	18204	4545519,492	5939093,511	-0,149	-0,559	0,579				0,335		
99418	4545512,950	5939079,382	18205	4545513,197	5939079,955	-0,247	-0,573	0,624				0,389		
99422	4545504,881	5939061,103	18206	4545505,147	5939061,388	-0,266	-0,285	0,390				0,152		
99426	4545500,233	5939041,682	18207	4545500,466	5939042,080	-0,233	-0,398	0,461				0,213		
99430	4545499,913	5939021,726	18208	4545500,075	5939022,010	-0,162	-0,284	0,327				0,107		
99432	4545501,188	5939011,809	18209	4545501,372	5939011,988	-0,184	-0,179	0,257				0,066		
												Summe:	2,440	
												Mittel:	0,494	

**B2.3: Plots****B2.3.1: Plot Alt Falkenhagen (M 1:700)**

**B2.3.2: Plot Nesselberg Park (M 1:500)**

**B2.3.3: Plot Nesselberg Waldweg (M 1:500)**

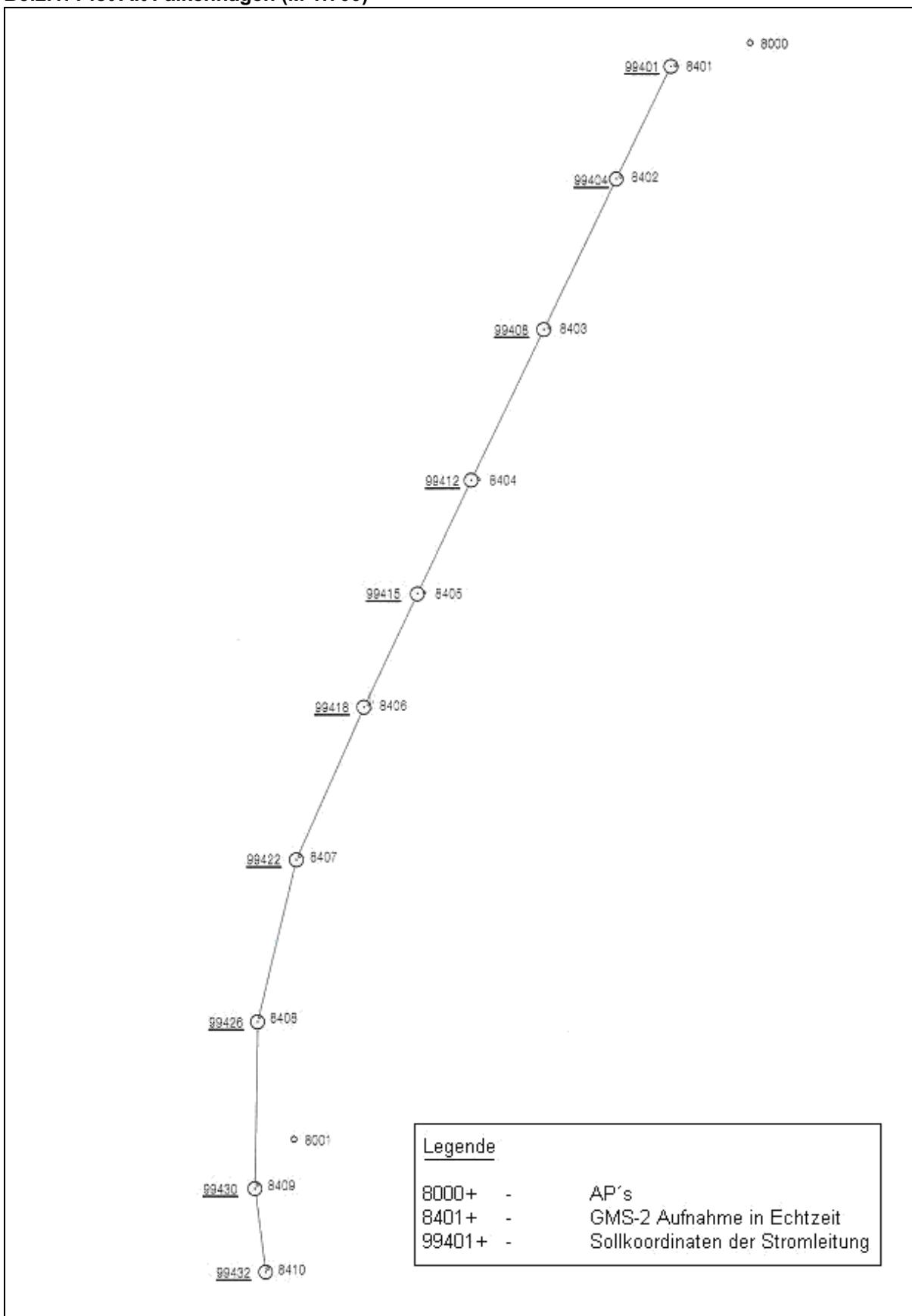
**B3: Topcon GMS-2****B3.1: Berechnungen der Lageabweichungen in Echtzeit**

Seite 1/2

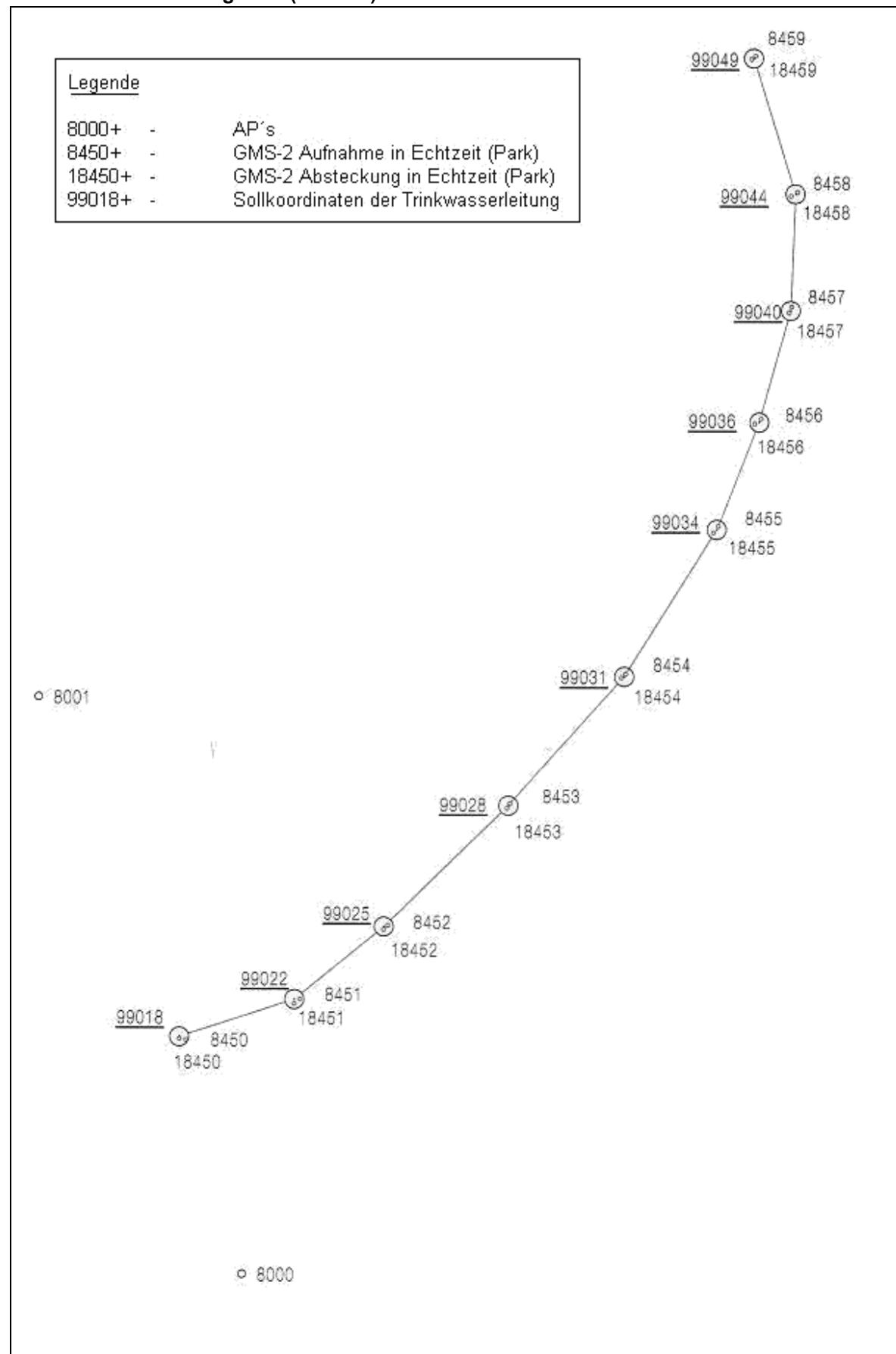
Sollkoordinate				Korrigiert				Lageabw.				Stabw.	
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	<b>Δy</b> [m]	<b>Δx</b> [m]	<b>d</b> [m]	<b>dd</b> [m <sup>2</sup> ]				
99018	4546192,408	5931319,077	8450	4546192,972	5931318,802	-0,564	0,275	<b>0,627</b>	<b>0,394</b>				
99022	4546202,342	5931322,337	8451	4546202,824	5931322,348	-0,482	-0,011	0,482	0,232				
99025	4546210,048	5931328,674	8452	4546210,392	5931328,766	-0,344	-0,092	0,356	0,127				
99028	4546220,772	5931339,161	8453	4546220,906	5931339,332	-0,134	-0,171	0,217	0,047				
99031	4546230,757	5931350,335	8454	4546230,883	5931350,559	-0,126	-0,224	0,257	0,066				
99034	4546238,717	5931363,025	8455	4546238,853	5931363,326	-0,136	-0,301	0,330	0,109				
99036	4546242,379	5931372,322	8456	4546242,545	5931372,600	-0,166	-0,278	0,324	0,105				
99040	4546245,092	5931381,981	8457	4546245,171	5931382,309	-0,079	-0,328	0,337	0,114				
99044	4546245,494	5931392,085	8458	4546245,671	5931392,220	-0,177	-0,135	0,223	0,050				
99049	4546241,882	5931403,897	8459	4546242,039	5931404,094	-0,157	-0,197	0,252	0,063				
							Summe:	3,406	1,307				
							Mittel:	<b>0,341</b>	<b>0,362</b>				

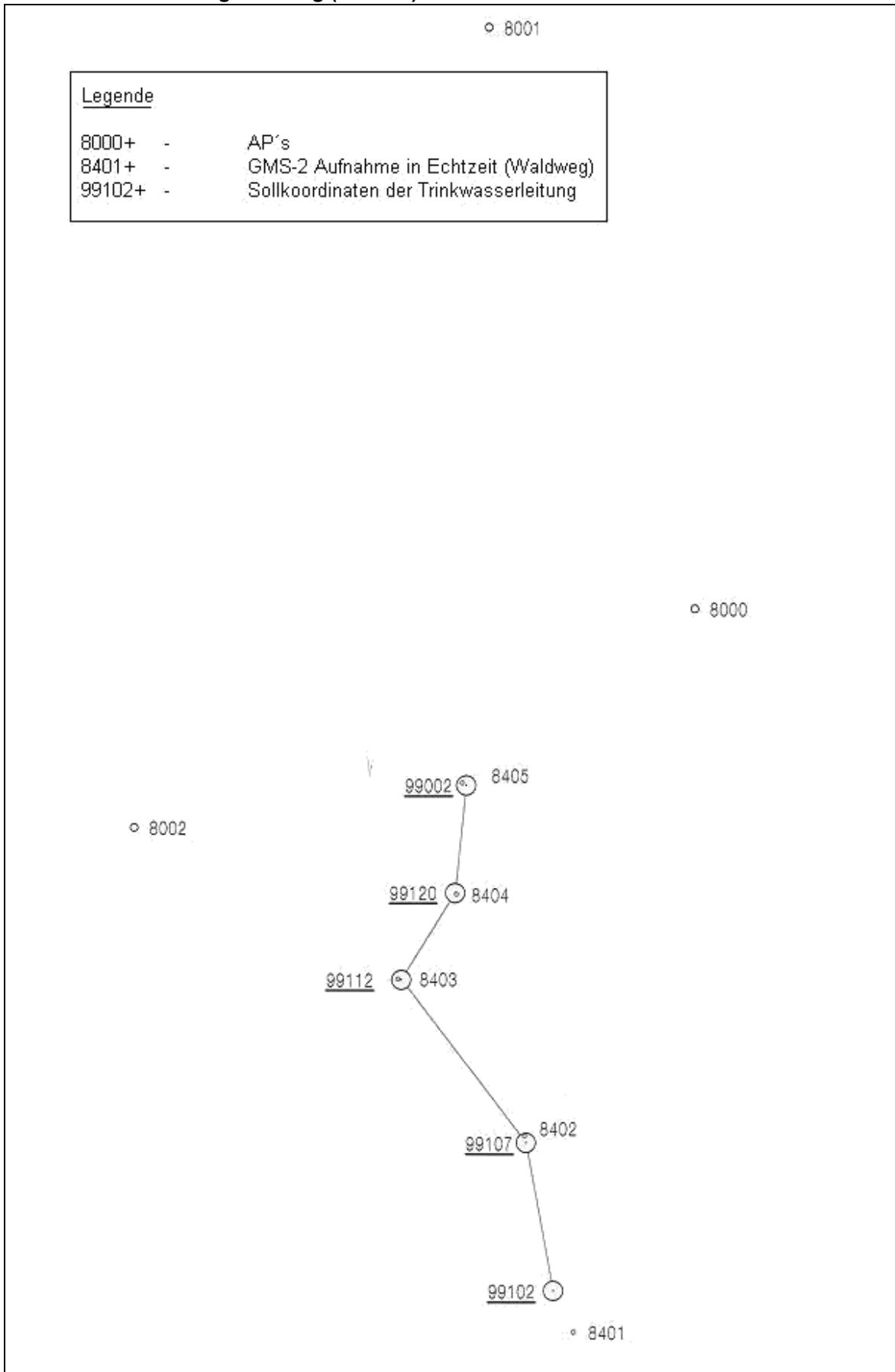
Sollkoordinate				Korrigiert				Lageabw.				Stabw.	
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	<b>Δy</b> [m]	<b>Δx</b> [m]	<b>d</b> [m]	<b>dd</b> [m <sup>2</sup> ]				
99102	4546185,612	5931239,932	8401	4546187,338	5931236,382	-1,726	3,550	<b>3,947</b>	<b>15,582</b>				
99107	4546183,293	5931252,678	8402	4546183,193	5931253,260	0,100	-0,582	0,591	0,349				
99112	4546172,599	5931266,674	8403	4546172,312	5931266,733	0,287	-0,059	0,293	0,086				
99120	4546177,232	5931274,138	8404	4546177,350	5931274,017	-0,118	0,121	0,169	0,029				
99002	4546178,194	5931283,389	8405	4546177,854	5931283,594	0,340	-0,205	0,397	0,158				
							Summe:	5,397	16,202				
							Mittel:	<b>1,079</b>	<b>1,800</b>				

Alt Falkenhagen				Sollkoordinate				Korrigiert				Lageabw.		Stabw.
Pkt.nr.	Rechts	Hoch	Pkt.nr.	Rechts	Hoch	$\Delta y$ [m]	$\Delta x$ [m]	$d$ [m]	$dd$ [m <sup>2</sup> ]					
99104	4545549,709	5939156,022	8401	4545550,255	5939156,137	-0,546	-0,115	0,558	0,311					
99404	4545543,158	5939142,528	8402	4545543,693	5939142,829	-0,535	-0,301	0,614	0,377					
99408	4545534,470	5939124,513	8403	4545534,123	5939124,714	0,347	-0,201	0,401	0,161					
99412	4545525,780	5939106,501	8404	4545526,685	5939106,602	-0,905	-0,101	0,911	0,829					
99415	4545519,343	5939092,952	8405	4545520,191	5939093,071	-0,848	-0,119	0,856	0,733					
99418	4545512,950	5939079,382	8406	4545513,563	5939079,651	-0,613	-0,269	0,669	0,448					
99422	4545504,881	5939061,103	8407	4545505,258	5939061,539	-0,377	-0,436	0,576	0,332					
99426	4545500,233	5939041,682	8408	4545500,475	5939042,237	-0,242	-0,555	0,605	0,367					
99430	4545499,913	5939021,726	8409	4545500,204	5939022,200	-0,291	-0,474	0,556	0,309					
99432	4545501,188	5939011,809	8410	4545501,427	5939012,194	-0,239	-0,385	0,453	0,205					
								Summe:	6,200	4,073				
								Mittel:	<b>0,620</b>	<b>0,638</b>				

**B3.2: Plots****B3.2.1: Plot Alt Falkenhagen (M 1:700)**

## B3.2.2: Plot Nesselberg Park (M 1:500)



**B3.2.3: Plot Nesselberg Waldweg (M 1:500)**

**B4: Koordinatenverzeichnis GPS-Handempfänger**

KATASTER- UND VERMESSUNGSAKT MÜRITZ

PROJEKT	#DIPLOM	GEMARKUNG	Waren
BEARBEITER	B.Falge	FLUR	

K O O R D I N A T E N V E R Z E I C H N I S

Erstellt am 27-JUN-2008 mittels HP9000/700 durch

KVA Landkreis Müritz

Seite 1/4

LS	KMQ	P	PNR	PNR (alt)	VMA	RECHTS	HOCH	L	L	B	BNR
A											

Alt Falkenhagen

AP's

150 4539 1 08000	020 4545559.184	5939158.868	2	2	008	1
150 4539 1 08001	020 4545504.597	5939027.654	2	2	008	1

## GeoXH Post-Processing

150 4539 3 08201	070 4545549.999	5939156.537	2	2	008	0
150 4539 3 08202	070 4545543.221	5939143.271	2	2	008	0
150 4539 3 08203	070 4545534.932	5939125.008	2	2	008	0
150 4539 3 08204	070 4545526.161	5939106.892	2	2	008	0
150 4539 3 08205	070 4545519.506	5939093.458	2	2	008	0
150 4539 3 08206	070 4545512.991	5939079.802	2	2	008	0
150 4539 3 08207	070 4545505.133	5939061.758	2	2	008	0
150 4539 3 08208	070 4545500.468	5939042.094	2	2	008	0
150 4539 3 08209	070 4545500.072	5939022.165	2	2	008	0
150 4539 3 08210	070 4545501.492	5939012.300	2	2	008	0

## GMS-2 Aufnahme in Echtzeit

150 4539 3 08401	070 4545550.255	5939156.137	2	2	008	0
150 4539 3 08402	070 4545543.693	5939142.829	2	2	008	0
150 4539 3 08403	070 4545535.123	5939124.714	2	2	008	0
150 4539 3 08404	070 4545526.685	5939106.602	2	2	008	0
150 4539 3 08405	070 4545520.191	5939093.071	2	2	008	0
150 4539 3 08406	070 4545513.563	5939079.651	2	2	008	0
150 4539 3 08407	070 4545505.258	5939061.539	2	2	008	0
150 4539 3 08408	070 4545500.475	5939042.237	2	2	008	0
150 4539 3 08409	070 4545500.204	5939022.200	2	2	008	0
150 4539 3 08410	070 4545501.427	5939012.194	2	2	008	0

## GeoXH Absteckung in Echtzeit

150 4539 3 18200	071 4545550.241	5939155.987	2	2	008	0
150 4539 3 18201	071 4545543.328	5939142.928	2	2	008	0
150 4539 3 18202	071 4545534.864	5939124.803	2	2	008	0
150 4539 3 18203	071 4545526.030	5939107.136	2	2	008	0
150 4539 3 18204	071 4545519.492	5939093.511	2	2	008	1
150 4539 3 18205	071 4545513.197	5939079.955	2	2	008	1
150 4539 3 18206	071 4545505.147	5939061.388	2	2	008	0
150 4539 3 18207	071 4545500.466	5939042.080	2	2	008	1
150 4539 3 18208	071 4545500.075	5939022.010	2	2	008	0
150 4539 3 18209	071 4545501.372	5939011.988	2	2	008	0

## GeoXH Rohdaten

150 4539 4 28201	SST 095 4545549.463	5939157.534	4	4	008	1
150 4539 4 28202	SST 095 4545542.673	5939144.237	4	4	008	1
150 4539 4 28203	SST 095 4545533.846	5939126.332	4	4	008	1
150 4539 4 28204	SST 095 4545524.978	5939108.253	4	4	008	1
150 4539 4 28205	SST 095 4545518.454	5939094.792	4	4	008	1
150 4539 4 28206	SST 095 4545511.818	5939081.006	4	4	008	1
150 4539 4 28207	SST 095 4545503.954	5939062.925	4	4	008	1

KATASTER- UND VERMESSUNGSAKT MÜRITZ  
 PROJEKT #DIPLOM GEMARKUNG Waren  
 BEARBEITER B.Falge FLUR  
 K O O R D I N A T E N V E R Z E I C H N I S  
 Erstellt am 27-JUN-2008 mittels HP9000/700 durch  
 KVA Landkreis Müritz

Seite 2/4

LS	KMQ	P	PNR	PNR (alt)	VMA	RECHTS	HOCH	L	L	B	BNR
A											
G Z											
150	4539	4	28208		SST 095	4545499.417	5939043.325	4	4	008	1
150	4539	4	28209		SST 095	4545499.868	5939023.053	4	4	008	1
150	4539	4	28210		SST 095	4545500.729	5939013.526	4	4	008	1
Sollkoordinaten der Stromleitung											
150	4539	1	99401		020	4545549.709	5939156.022	2	2	008	1
150	4539	1	99404		020	4545543.158	5939142.528	2	2	008	1
150	4539	1	99408		020	4545534.470	5939124.513	2	2	008	1
150	4539	1	99412		020	4545525.780	5939106.501	2	2	008	1
150	4539	1	99415		020	4545519.343	5939092.952	2	2	008	1
150	4539	1	99418		020	4545512.950	5939079.382	2	2	008	1
150	4539	1	99422		020	4545504.881	5939061.103	2	2	008	1
150	4539	1	99426		020	4545500.233	5939041.682	2	2	008	1
150	4539	1	99430		020	4545499.913	5939021.726	2	2	008	1
150	4539	1	99432		020	4545501.188	5939011.809	2	2	008	1

Nesselberg Park und Waldweg

## Messprozedur 20 Positionen

150	4631	3	00020		070	4546192.797	5931319.246	2	2	008	0
150	4631	3	00021		070	4546202.768	5931322.449	2	2	008	0
150	4631	3	00022		070	4546210.481	5931328.749	2	2	008	0
150	4631	3	00023		070	4546221.006	5931339.402	2	2	008	0
150	4631	3	00024		070	4546230.974	5931350.508	2	2	008	0
150	4631	3	00025		070	4546238.958	5931363.234	2	2	008	0
150	4631	3	00026		070	4546242.649	5931372.655	2	2	008	0
150	4631	3	00027		070	4546245.316	5931382.261	2	2	008	0
150	4631	3	00028		070	4546245.678	5931392.221	2	2	008	0
150	4631	3	00029		070	4546242.108	5931403.949	2	2	008	0

## Messprozedur 5 Positionen

150	4631	3	00050		070	4546192.692	5931319.304	2	2	008	0
150	4631	3	00051		070	4546202.706	5931322.428	2	2	008	0
150	4631	3	00052		070	4546210.289	5931328.889	2	2	008	0
150	4631	3	00053		070	4546220.923	5931339.559	2	2	008	0
150	4631	3	00054		070	4546230.852	5931350.752	2	2	008	0
150	4631	3	00055		070	4546238.868	5931363.420	2	2	008	0
150	4631	3	00056		070	4546242.594	5931372.737	2	2	008	0
150	4631	3	00057		070	4546245.341	5931382.184	2	2	008	0
150	4631	3	00058		070	4546245.817	5931392.247	2	2	008	0
150	4631	3	00059		070	4546242.076	5931404.250	2	2	008	0

## AP's

150	4631	1	08000		020	4546197.834	5931298.557	2	2	008	1
150	4631	1	08001		020	4546180.236	5931348.530	2	2	008	1
150	4631	1	08002		020	4546149.683	5931279.735	2	2	008	1

## GeoXH Post-Processing (Waldweg)

150	4631	3	08201		070	4546189.662	5931238.240	2	2	008	0
150	4631	3	08202		070	4546178.432	5931284.115	2	2	008	0
150	4631	3	08203		070	4546182.760	5931253.796	2	2	008	0

KATASTER- UND VERMESSUNGSAMT MÜRITZ  
 PROJEKT #DIPLOM GEMARKUNG Waren  
 BEARBEITER B.Falge FLUR  
 K O O R D I N A T E N V E R Z E I C H N I S  
 Erstellt am 27-JUN-2008 mittels HP9000/700 durch  
 KVA Landkreis Müritz

LS	KMQ	P	PNR	PNR (alt)	VMA	RECHTS	HOCH	L	L	B	Seite 3/4	
A												
								G	Z			
150	4631	3	08204		070	4546172.366	5931267.552	2	2	008	0	
150	4631	3	08205		070	4546177.404	5931274.796	2	2	008	0	
GeoXH Post-Processing (Park)												
150	4631	3	08250		070	4546192.567	5931319.475	2	2	008	0	
150	4631	3	08251		070	4546202.516	5931322.770	2	2	008	0	
150	4631	3	08252		070	4546210.233	5931329.036	2	2	008	0	
150	4631	3	08253		070	4546220.993	5931339.465	2	2	008	0	
150	4631	3	08254		070	4546231.013	5931350.735	2	2	008	0	
150	4631	3	08255		070	4546238.998	5931363.535	2	2	008	0	
150	4631	3	08256		070	4546242.580	5931372.638	2	2	008	0	
150	4631	3	08257		070	4546245.295	5931382.202	2	2	008	0	
150	4631	3	08258		070	4546245.807	5931392.316	2	2	008	0	
150	4631	3	08259		070	4546242.101	5931404.007	2	2	008	0	
GMS-2 Aufnahme in Echtzeit (Waldweg)												
150	4631	3	08401		070	4546187.338	5931236.382	2	2	008	0	
150	4631	3	08402		070	4546183.193	5931253.260	2	2	008	0	
150	4631	3	08403		070	4546172.312	5931266.733	2	2	008	0	
150	4631	3	08404		070	4546177.350	5931274.017	2	2	008	0	
150	4631	3	08405		070	4546177.854	5931283.594	2	2	008	0	
GMS-2 Aufnahme in Echtzeit (Park)												
150	4631	3	08450		070	4546192.972	5931318.802	2	2	008	0	
150	4631	3	08451		070	4546202.824	5931322.348	2	2	008	0	
150	4631	3	08452		070	4546210.392	5931328.766	2	2	008	0	
150	4631	3	08453		070	4546220.906	5931339.332	2	2	008	0	
150	4631	3	08454		070	4546230.883	5931350.559	2	2	008	0	
150	4631	3	08455		070	4546238.853	5931363.326	2	2	008	0	
150	4631	3	08456		070	4546242.545	5931372.600	2	2	008	0	
150	4631	3	08457		070	4546245.171	5931382.309	2	2	008	0	
150	4631	3	08458		070	4546245.671	5931392.220	2	2	008	0	
150	4631	3	08459		070	4546242.039	5931404.094	2	2	008	0	
GeoXH Absteckung in Echtzeit (Waldweg)												
150	4631	3	18200		071	4546177.977	5931283.682	2	2	008	0	
150	4631	3	18201		071	4546177.245	5931274.285	2	2	008	0	
150	4631	3	18202		071	4546172.862	5931266.608	2	2	008	0	
150	4631	3	18203		071	4546183.302	5931251.053	2	2	008	0	
150	4631	3	18204		071	4546185.264	5931240.835	2	2	008	0	
GeoXH Absteckung in Echtzeit (Park)												
150	4631	3	18250		071	4546192.852	5931319.326	2	2	008	0	
150	4631	3	18251		071	4546202.681	5931322.710	2	2	008	0	
150	4631	3	18252		071	4546210.402	5931329.017	2	2	008	0	
150	4631	3	18253		071	4546220.939	5931339.642	2	2	008	0	
150	4631	3	18254		071	4546230.737	5931350.785	2	2	008	0	
150	4631	3	18255		071	4546238.813	5931363.491	2	2	008	1	
150	4631	3	18256		071	4546242.465	5931372.716	2	2	008	0	
150	4631	3	18257		071	4546245.128	5931382.386	2	2	008	0	
150	4631	3	18258		071	4546245.583	5931392.440	2	2	008	0	

KATASTER- UND VERMESSUNGSAMT MÜRITZ  
 PROJEKT #DIPLOM GEMARKUNG Waren  
 BEARBEITER B.Falge FLUR  
 K O O R D I N A T E N V E R Z E I C H N I S  
 Erstellt am 27-JUN-2008 mittels HP9000/700 durch  
 KVA Landkreis Müritz

LS	KMQ	P	PNR	PNR (alt)	VMA	RECHTS	HOCH	L	L	B	Seite 4/4		
A												G Z	
150	4631	3	18259		071	4546242.153	5931404.222	2	2	008	1		
GMS-2 Absteckung in Echtzeit (Park)													
150	4631	3	18450		071	4546192.413	5931318.918	2	2	008	0		
150	4631	3	18451		071	4546202.320	5931321.952	2	2	008	0		
150	4631	3	18452		071	4546210.028	5931328.435	2	2	008	0		
150	4631	3	18453		071	4546220.651	5931338.945	2	2	008	0		
150	4631	3	18454		071	4546230.511	5931350.236	2	2	008	0		
150	4631	3	18455		071	4546238.435	5931362.764	2	2	008	0		
150	4631	3	18456		071	4546241.987	5931372.168	2	2	008	0		
150	4631	3	18457		071	4546244.944	5931381.801	2	2	008	0		
150	4631	3	18458		071	4546245.119	5931391.904	2	2	008	0		
150	4631	3	18459		071	4546241.690	5931403.797	2	2	008	0		
GeoXH Rohdaten (Waldweg)													
150	4631	4	28201		SST	095	4546188.964	5931239.752	4	4	008	1	
150	4631	4	28202		SST	095	4546177.913	5931284.013	4	4	008	1	
150	4631	4	28203		SST	095	4546182.799	5931252.715	4	4	008	1	
150	4631	4	28204		SST	095	4546172.481	5931266.521	4	4	008	1	
150	4631	4	28205		SST	095	4546176.816	5931275.912	4	4	008	1	
GeoXH Rohdaten (Park)													
150	4631	4	28250		SST	095	4546192.595	5931320.832	4	4	008	1	
150	4631	4	28251		SST	095	4546202.641	5931323.943	4	4	008	1	
150	4631	4	28252		SST	095	4546210.373	5931330.253	4	4	008	1	
150	4631	4	28253		SST	095	4546221.184	5931340.504	4	4	008	1	
150	4631	4	28254		SST	095	4546231.286	5931351.707	4	4	008	1	
150	4631	4	28255		SST	095	4546239.178	5931364.792	4	4	008	1	
150	4631	4	28256		SST	095	4546242.940	5931373.710	4	4	008	1	
150	4631	4	28257		SST	095	4546244.993	5931384.301	4	4	008	1	
150	4631	4	28258		SST	095	4546245.492	5931394.253	4	4	008	1	
150	4631	4	28259		SST	095	4546241.873	5931405.907	4	4	008	1	
Sollkoordinaten der Wasserleitung (Park)													
150	4631	1	99018		020	4546192.408	5931319.077	2	2	008	1		
150	4631	1	99022		020	4546202.342	5931322.337	2	2	008	1		
150	4631	1	99025		020	4546210.048	5931328.674	2	2	008	1		
150	4631	1	99028		020	4546220.772	5931339.161	2	2	008	1		
150	4631	1	99031		020	4546230.757	5931350.335	2	2	008	1		
150	4631	1	99034		020	4546238.717	5931363.025	2	2	008	1		
150	4631	1	99036		020	4546242.379	5931372.322	2	2	008	1		
150	4631	1	99040		020	4546245.092	5931381.981	2	2	008	1		
150	4631	1	99044		020	4546245.494	5931392.085	2	2	008	1		
150	4631	1	99049		020	4546241.882	5931403.897	2	2	008	1		
Sollkoordinaten der Wasserleitung (Waldweg)													
150	4631	1	99102		020	4546185.612	5931239.932	2	2	008	1		
150	4631	1	99107		020	4546183.293	5931252.678	2	2	008	1		
150	4631	1	99112		020	4546172.599	5931266.674	2	2	008	1		
150	4631	1	99120		020	4546177.232	5931274.138	2	2	008	1		
150	4631	1	99002		020	4546178.194	5931283.389	2	2	008	1		

**B5: Inhalt des Ordners GPS-Handempfänger auf der CD**

- *Trimble GeoXH*
  - ~ Messprozedur Anzahl Positionen
    - Nesselberg Park 5 Positionen
    - Nesselberg Park 10 Positionen
    - Nesselberg Park 20 Positionen
  - ~ Post-Processing
    - Alt Falkenhagen
    - Nesselberg Park
    - Nesselberg Waldweg
  - ~ Echtzeit
    - Absteckung Alt Falkenhagen
    - Absteckung Nesselberg Park
    - Absteckung Nesselberg Waldweg
  - ~ Plots
    - Alt Falkenhagen
    - Nesselberg Park
    - Nesselberg Waldweg
- *Topcon GMS-2*
  - ~ Echtzeit
    - Absteckung Alt Falkenhagen
  - ~ Plots
    - Alt Falkenhagen
    - Nesselberg Park
    - Nesselberg Waldweg
- *Sonstiges*
  - ~ Berechnungen in Excel
  - ~ Koordinatenverzeichnis GPS-Handempfänger

## **VI. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr.-Ing. (CDN) E.T. Knickmeyer und Herrn Dipl.-Ing. (FH) S. Zech für die Aufgabenstellung und die optimale Betreuung.

Ein herzliches Dankeschön geht an die Stadtwerke Waren GmbH und seinen Mitarbeitern die mir hilfreiches Material bereitstellten sowie für die engagierte Betreuung und Unterstützung.

Ebenfalls danke ich auch ganz herzlich den Außendiensttrupp des Kataster- und Vermessungsamtes des Landkreis Müritz, ohne deren Hilfe ein reibungsloser Ablauf nicht gewährleistet gewesen wäre.

Ein besonderer Dank gebührt „ascos“ für die Bereitstellung der Korrekturdaten und dem Service Team, die bei vielen Fragestellungen immer ein offenes Ohr hatten und mit Rat und Tat zur Seite standen.

Außerdem möchte ich mich bei Topcon Deutschland GmbH in Willich bedanken, die mir den Handempfänger GMS-2 zur Verfügung gestellt haben.

Des Weiteren möchte ich mich bei der Firma Arc-Greenlab GmbH in Berlin für die Bereitstellung des GPS-Empfänger MobileMapper CE von Thales bedanken.

Zum Schluss sei nochmals dem Kataster- und Vermessungsamt des Landkreis Müritz, recht herzlich für die Bereitstellung des Trimble GeoXH gedankt.

Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank meiner Familie und Freunde, die mich während dieser Zeit in jeglicher Hinsicht unterstützt und viel Geduld gezeigt haben.