

Paper-ID: VGI_200010



Neue GPS Technologien – neue Anwendungen

Werner Daxinger ¹

¹ *Leica Geosystems AG, CH-9435 Heerbrugg*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **88** (2), S. 111–116

2000

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Daxinger_VGI_200010,  
Title = {Neue GPS Technologien -- neue Anwendungen},  
Author = {Daxinger, Werner},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {111--116},  
Number = {2},  
Year = {2000},  
Volume = {88}  
}
```





Neue GPS Technologien – neue Anwendungen

Werner Daxinger, Heerbrugg

Zusammenfassung

Die GPS Empfänger Technologien und die Daten-Auswertestrategien wurden in den vergangenen Jahren entscheidend weiterentwickelt. Dadurch werden eine Reihe von Anwendungen ermöglicht, die hochgenaue Positionsdaten in Echtzeit erfordern. Selbst unter schwierigen Bedingungen können die gestellten Erwartungen bezüglich Qualität und Sicherheit einer GPS gestützten Positionierung erfüllt werden.

1. Einleitung

Im letzten Jahrzehnt konnte man grosse Veränderungen in der GPS Vermessung feststellen. Während vor einigen Jahren GPS noch fast ausschließlich von Spezialisten für geodätische Netze und wissenschaftliche Messungen eingesetzt wurde, ist es inzwischen zu einem Standardwerkzeug für fast alle Vermessungsanwendungen geworden.

In der Vergangenheit waren die Anwender hauptsächlich an der Genauigkeit der Empfänger und den Ergebnissen des Post-Processings interessiert. Heutzutage erwarten die Anwender eine Black Box und halten es für selbstverständlich, daß ein GPS Empfänger die Ergebnisse mit der gewünschten Genauigkeit liefert. Vermes-

sungsingenieure fordern nunmehr leistungsstarke aber einfach zu bedienende Systeme, die universell einsetzbar sind, mit einem nahtlosen Datenfluß, Codierung im Feld und einer direkten Verknüpfung mit CAD- und GIS-Systemen.

Je vielseitiger ein GPS Empfänger ist, desto größer ist sein Nutzen und seine Wirtschaftlichkeit. Besonders wichtig ist dabei, dass der Empfänger klein, leicht und modular konstruiert sind, damit er einfach aufgebaut, auf verschiedene Art betrieben und für verschiedene Aufgaben verwendet werden kann.

Unsere Anstrengungen sind durch diese Anforderungen geleitet; als Ergebnis konnte Anfang 1999 System 500 dem Markt präsentiert werden. Die System 500 Reihe umfaßt drei Empfänger: SR510 Einfrequenz-, SR520 Zweifrequenz- und SR530 Zweifrequenz RTK Empfänger.

Leistungsstark, flexibel, und dennoch einfach zu bedienen, stellt System 500 ein hocheffizientes Produktionswerkzeug dar, das in bezug auf Geschwindigkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit neue Massstäbe setzt.

2. ClearTrak™ Empfängertechnologie

Die heutigen Anwender fordern, daß GPS Empfänger überall unter allen Bedingungen genau und zuverlässig eingesetzt werden können. Ein erstklassiger Empfänger soll eine kurze Ansprechzeit haben, einwandfrei unter Anti-Spoofing (AS) arbeiten, Satelliten mit niedriger Elevation empfangen, gut unter schwierigen Bedingungen (z.B. in der Nähe von Bäumen) arbeiten und so unempfindlich wie möglich gegen Mehrwegausbreitungen und Interferenzsignale (Signal Jamming) sein.

ClearTrak™ ist die Bezeichnung für den im System 500 verwendeten GPS Chip. Die Grundlage von ClearTrak™ ist der patentierte codeunter-



Abbildung 1: System 500 GPS Receiver

stützte Empfang mit komplett unabhängigen Tracking Loops (Empfangsschleifen) für L1 und L2, der weiter verbessert und mit neuen Techniken zur Unterdrückung von Mehrwegsignalen und Interferenzabschirmung erweitert wurde.

2.1. Anti-Spoofing

Als die GPS Hersteller Zweifrequenz-Empfänger zu produzieren begannen, entschied die U.S. Regierung Anti-Spoofing (AS) einzuführen, mit der Absicht, feindliche Kräfte an der Übertragung falscher GPS Signale zu hindern.

Die AS-Technik ersetzt den bekannten P-Code, der auf L1 und L2 übermittelt wird, durch den verschlüsselten Y-Code. Dieser Y-Code ist nur den autorisierten Anwendern bekannt.

Aufgrund der Tatsache, daß derzeit kein C/A-Code für L2 verfügbar ist, hätte AS die zivile Verwendung des L2-Signals komplett verhindern können.

Da zivile Anwender Zugriff auf den C/A-Code des L1-Signals haben, ergibt sich hier keine negative Auswirkung durch AS.

Daher bedarf es einer Technologie, die auch unter AS Code- und Phasenmessungen auf L2 gestattet:

Der Y-Code entsteht aus dem bekannten P-Code durch Multiplikation mit einem viel langsameren Verschlüsselungscode. Deshalb erhält man durch Korrelation des Y-Code Signals mit dem bekannten P-Code vor der Weiterverarbeitung als Ergebnis ein Signal, das 20 mal stärker ist (+13 dB) als bei einfacher Kreuzkorrelation! Dies ergibt eine enorme Leistungsverbesserung im Vergleich zu herkömmlichen Techniken; außerdem empfangen Leica Geosystems GPS Empfänger somit de facto den P-Code.

Dieses ausgereifte Verfahren der codeunterstützten Kreuzkorrelation liefert eine optimale L2-Signalqualität. Es ist eines der Schlüsselemente, auf denen die ClearTrak™ Technologie basiert.

2.2. Multipath Unterdrückung

Bei den meisten GPS Anwendungen hoher Präzision stellt der Multipath-Effekt die signifikanteste Fehlerquelle dar. Abbildung 2 veranschaulicht den Multipath-Effekt.

Zusätzlich zum direkten Signalweg vom Satelliten zur Empfangsantenne gibt es viele indirekte Wege, daher der Name Multipath (= Mehrweg). In einer typischen Meßumgebung sind oft viele

Reflexionsflächen wie Gebäudefläche, Blätter, ... vorhanden. Deshalb muß der GPS Empfänger die Kombination der direkten und der reflektierten Signale verarbeiten können. Der Fehler, der auf Grund von Multipath entsteht, ist definiert als die Differenz aus den tatsächlichen Messungen, die Multipath behaftet sind, und den Messungen, die man ohne Multipath-Effekt erhalten würde. Sowohl auf die Code- (Pseudorange), als auch auf die Trägerphasenmessungen wirkt sich Multipath aus. Das charakteristische Kennzeichen von Multipath-Signalen ist, daß sie aufgrund des längeren Weges später an der empfangenden Antenne ankommen, als das direkte Signal. Diese zeitliche Verzögerung stellt den Einfluß des Multipath-Signals dar.

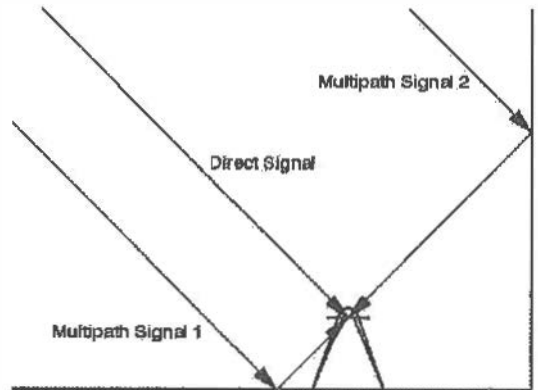


Abbildung 2: Multipath Definition

Filterung der Codemessungen mit trägerunterstützter Glättung ist eine weitverbreitete Technik zur Reduktion von Multipath-Effekten, die von Leica Geosystems entwickelt wurde. Die Grundidee ist eine von der Trägerphase abgeleitete sehr genaue Messung der Pseudorangeänderung, um die Effekte von der Code-Tracking Funktion zu entfernen, die von Satellitenbewegung, Empfängerbewegung und Oszillatordrift verursacht werden. Als Ergebnis kann die Codeschleife und/oder nachfolgendes Codefiltern auf sehr lange Zeitkonstanten zurückgreifen, um einen Großteil des Multipath-Rauschens herauszufiltern.

„Reduced Width“ Korrelatoren (RWCs) wurden viele Jahre zur Abschwächung der Multipath-Effekte bei den Codemessungen eingesetzt. Die ersten GPS Empfänger verwendeten zum Empfang von C/A- und P-Code einen „Wide“ Korrelator. Die Wahl des „Wide“ Korrelators war einfach und effektiv. Später wurde festgestellt, daß sich durch Umschalten auf einen „Reduced Width“ Korrelator nach der ersten Signalerfas-

sung das Rauschen der Codemessungen deutlich reduziert, was in erster Linie auf die Eliminierung von Multipath-Einflüssen zurückzuführen ist.

In Abbildung 3 ist der Multipath-Effekt verschiedener Empfangstechnologien dargestellt. Man erkennt den Fehlereinfluss, den ein einziges, besonders starkes Multipath-Signal erzeugt als eine Funktion seiner verspäteten Ankunft im Verhältnis zum direkt empfangenen Signal. (Fehler und Empfangsverzögerung werden in „Chips“ angegeben, der Einheit des C/A-Codes)

Obwohl unsere bisherigen Produkte RWCs bereits nutzten, verwendet ClearTrak™ eine neue und wesentlich effektivere Technik, die wir als „Multipath Mitigation“ Korrelator (MM Korrelator) bezeichnen (Patente angemeldet). Der Restfehler des MM Korrelators ist ebenfalls in Abbildung 3 dargestellt, er ist jedoch so klein, daß er im Maßstab der Grafik fast nicht mehr erkennbar ist. Aus diesem Grund wird in Abbildung 4 der relevante Teil der Grafik vergrößert dargestellt. Der MM Korrelator liefert ein Ergebnis, dessen maximaler Fehler nur noch einem Viertel des Fehlers des 10% RWC entspricht. Ebenso wichtig ist, daß der Fehler bei einer Multipath-Verzögerung über 0,05 Chips, d.h. 14,7 Metern, Null wird. Beide Eigenschaften vermindern deutlich den Einfluss der Multipath-Signale. Diese enorme Leistungssteigerung kann aus Abbildung 4 entnommen werden.

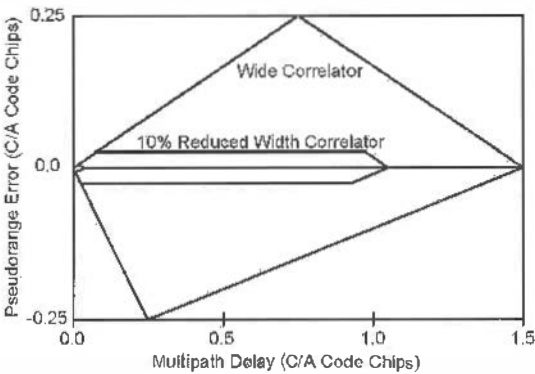


Abbildung 3: Code Multipath Fehlereinfluss

Da die stärksten und störendsten Multipath-Signale in unmittelbarer Nähe der Antenne entstehen, haben diese eine sehr kurze Laufzeitverzögerung. Deshalb kommt für die Überprüfung der Leistungsfähigkeit nur ein Test unter Feldbedingungen in Frage.

Es ist wichtig zu betonen, daß die berechneten und dargestellten Genauigkeitsmaße auf so-

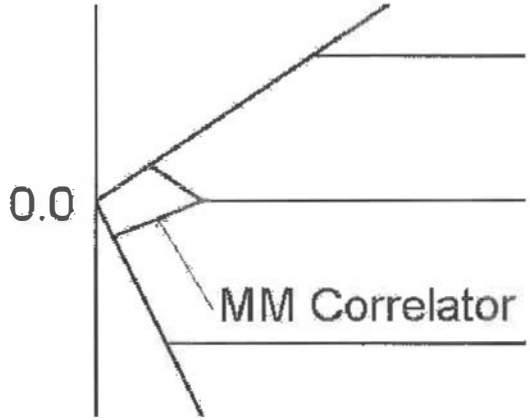


Abbildung 4: MM Korrelator Bereich

nannten „rohen Codemessungen“ beruhen; es wurde also auf Codeglättung durch Trägerphasen verzichtet. Das Ziel ist es, die durch den MM Korrelator erzielte Verbesserung darzustellen. Bei Verwendung der Codeglättung wäre die Streuung weitaus geringer.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen rohe, differentielle Code-Navigationsergebnisse, bei denen der Referenzempfänger in offenem Gelände, der Rover-Empfänger jedoch unter Belaubung aufgestellt war. Dies stellt eine schwierige Multipath-Umgebung dar, weil die direkten Signale durch das Laub abgeschwächt werden, das Multipath-Signal hingegen aufgrund seines Signalweges die Störung durch das Laub umgehen kann, und aus diesem Grund mit größerer Intensität ankommt, als das direkte Signal. An jedem

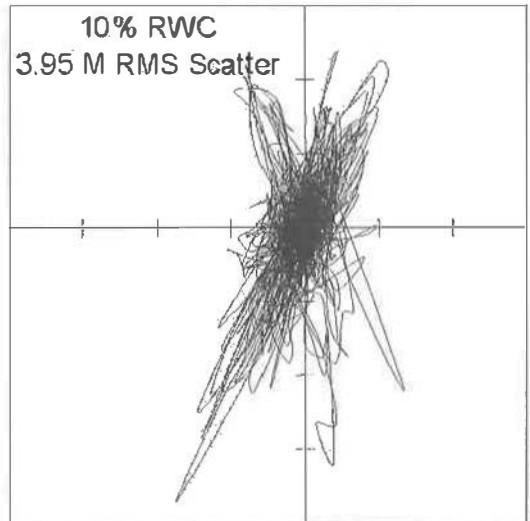


Abbildung 5: Positionsgenauigkeit mit 10% RW Korrelator

Standort wurden pro Antenne jeweils zwei Empfänger angeschlossen. Deshalb empfangen die beiden an jede Antenne angeschlossenen Empfänger absolut identische Signale.

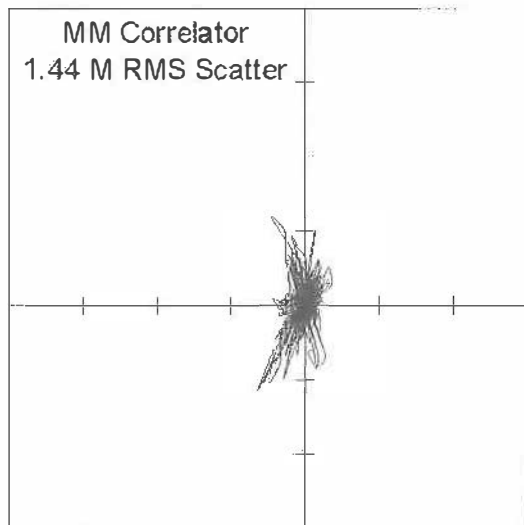


Abbildung 6: Positionsgenauigkeit mit MM Korrelator

Dieser neue „Multipath Mitigation“ Korrelator reduziert in Verbindung mit modernen GPS Antennen die Einflüsse von Mehrwegausbreitungen auf ein Niveau, das weit unter jenem bisher erreichbaren liegt. In der Praxis bedeutet dies für die Code- (Pseudorange) Messungen eine signifikante Genauigkeitssteigerung. Durch die mit differentiellen Codemessungen erreichbare Positionsgenauigkeit von 30 cm eignen sich System 500 Empfänger ideal für GIS-Datenerfassung und ähnlichen Anwendungen. Diese hochgenauen Codemessungen unterstützen aber auch die Echtzeitanwendungen durch schnellere und zuverlässigere Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten (Ambiguities).

2.3. Anti-Jamming

Ein GPS Empfänger ist im wesentlichen ein Funkempfänger, der für den Signalempfang von GPS Satellensignalen bestimmt ist. Da diese Signale sehr schwach sind, sollte der Empfänger möglichst unempfindlich gegenüber Interferenzsignalen sein.

Interferenzen treten in der Umgebung von Sendern und Mikrowellenstationen auf, etwa bei Navigations- und Radarsystemen von Flughäfen und Häfen. Die ClearTrak™ Empfänger besitzen hervorragende Jamming Resistenz, die durch Verwendung von SAW-Filtern, welche die Inter-

ferenzen außerhalb des Bandbereiches eliminieren, und der Multi Level Sampling Signalabtastung, welche die bandinternen Interferenzen minimiert, erreicht wird.

Tests und Kundenanwendungen haben gezeigt, daß System 500 Empfänger an Orten, an denen andere Empfänger eingeschränkten oder gar keinen GPS Signalempfang gestatten, einwandfreie Phasen- und Codemessungen liefern.

2.4. Hochgeschwindigkeits RTK mit vollständiger Integritätsüberprüfung

System 500 besitzt eine komplett neue RTK (Realtime Kinematic, Echtzeitpositionierung mit cm Genauigkeit) Technologie. Der im SR530 Empfänger verwendete RTK Modus basiert auf neuen Algorithmen, neuen Strategien zur Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten und einer neuen Integrity Monitoring (=Selbstüberprüfung) Technik. Diese Methoden bewirken zusammen mit der ClearTrak™ Empfängertechnologie und schnellen Prozessoren eine stark gesteigerte RTK Leistungsfähigkeit:

- Ambiguity Lösung innerhalb von 30 Sekunden
- Ambiguity Lösung auf langen Basislinien
- Ambiguity Lösung unter schwierigen Bedingungen
- Genauigkeit 5–10 mm + 2 ppm
- Zuverlässigkeit besser als 99,99% bei kurzen Basislinien
- Zuverlässigkeit besser als 99,9% bei langen Basislinien
- Aktualisierungsrate 10 Hz
- Latency (Verzögerung) unter 0,05 Sekunden

Eine schnelle und zuverlässige Ambiguity Lösung on-the-fly (Initialisierung bei bewegter GPS Antenne) ist eine Grundvoraussetzung für ein modernes RTK System. Statische Initialisierung und Initialisierung auf einem bekannten Punkt stellen eine zu grosse Einschränkung fuer produktive Arbeit dar.

Unter normalen Bedingungen bei Empfang von 5 oder mehr Satelliten erfolgt beim SR530 die Initialisierung on-the-fly bei kurzen und mittleren Basislinien (5–10 km) innerhalb von 30 Sekunden. Auch bei längeren Basislinien von über 10 km sind normalerweise mindestens 50% der Initialisierungen innerhalb von 30 Sekunden und der Rest in weniger als einer Minute durchgeführt, siehe Abbildung 7.

Da die ClearTrak™ Technologie es gestattet, die GPS Signale auch zwischen Bäumen und anderen Hindernissen zu empfangen, kann man bei

den Anwendern die Tendenz feststellen, den SR530 auch unter schwierigen Bedingungen einzusetzen, bei denen sie früheren RTK Systemen nicht vertraut hätten. Auch in signaltechnisch derart ungünstigen Umgebungen benötigt die Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten selten länger als 60 Sekunden. Nach der Initialisierung behält der SR530 die fixierten Phasenmehrdeutigkeiten und liefert Positionen mit cm-Genauigkeit, solange ein L1 Signal von mindestens 4 Satelliten empfangen wird.

3. Schiffspositionierung mit Realtime GPS

In Ilawa, Polen, ist ein Trainings- und Forschungszentrum ansässig, das sich mit dem Manoevrieren von Schiffen auf Binnen- und Hochseegewässern beschäftigt und die Erkenntnisse in Form von Kursen vermittelt. Dazu wird ein Positionierungssystem benötigt, das höchste Positionsgenauigkeit für die Schiffe während der Manöver zur Verfügung stellt.

Das Training Center bietet Kurse für Navigatoren und Kapitäne an, um deren Fähigkeiten zu überprüfen und zu verbessern. Die Ausbildung wird auf maßstabsgetreuen Modellen in verschiedenen Anlagen auf dem Silm See durchgeführt.

Um einerseits die Piloten während der Übungen zu unterstützen, aber auch um eine genaue Analyse der Fahrten im Nachhinein durchführen zu können, werden hochgenaue Positionsdaten benötigt.

Realtime GPS ist dafür ein geeignetes Mittel, da 3D Positionen mit 1-3 cm Genauigkeit bestimmt werden können. Wenn jedes Schiff mit zwei GPS Empfängern ausgestattet wird, so kann sowohl die Position als auch die Orientierung ermittelt werden.

Diese Positionen können auf einem Display an Bord des Schiffes visualisiert werden und mit Hilfe eines Funkgerätes an eine Master Control Station übertragen werden.

Das Display an Bord des Schiffes unterstützt den Kapitän beim Navigieren durch die Übungsanlagen und ermöglicht es, Fehler sofort anzuzeigen.

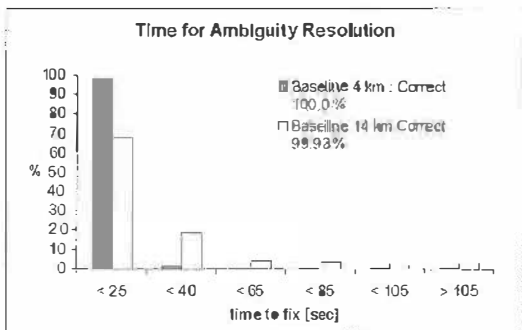


Abbildung 7: Initialisierungszeit und Zuverlässigkeit

Für den Vermessungsingenieur ist die Zuverlässigkeit der wichtigste Aspekt bei Echtzeitanwendungen. Beim System 500 ist jede Initialisierung das Ergebnis von zwei völlig voneinander unabhängigen Bestimmungen der Phasenmehrdeutigkeiten. Nach der Initialisierung löst das System im Hintergrund (Multi-tasking) weiterhin alle 15 Sekunden die Phasenmehrdeutigkeiten und überprüft die aktuellen Positionsanzeigen. Dieses kontinuierliche und vollständig überwachte Verfahren garantiert höchsten Zuverlässigkeit.

Sowohl für Absteckungsarbeiten als auch für Punktaufnahmen ist eine hohe Aktualisierungsrate mit niedrigen Verzögerungen erforderlich. Der SR530 gibt alle 0.1 Sekunden (10 Hz) cm-genaue Positionen mit weniger als 0.05 Sekunden Verzögerung aus. Dies erfolgt ohne Beeinträchtigung der Genauigkeit, die beim System 500 unabhängig von der Aktualisierungsrate ist. Diese hohe Leistungsfähigkeit ist das direkte Ergebnis der entwickelten Techniken zur Trägerphasenpraediktion sowie zur Übertragung und zum Empfang von Daten. Da jede der 0.1 Sekunden Positionsbestimmungen völlig unabhängig berechnet wird, ist kein Genauigkeitsverlust feststellbar. Dies ist ein klarer Unterschied zu anderen Systemen, bei denen 10 Hz Positionen einfach extrapoliert werden und dadurch signifikante Genauigkeitsverluste eintreten.

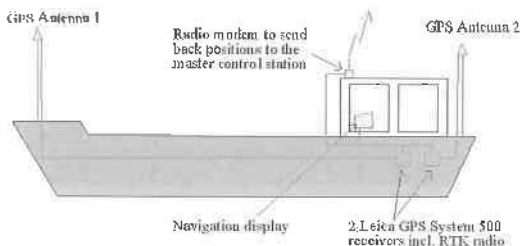


Abbildung 8: Systemaufbau an Bord des Schiffes

Auf der Master Control Station können alle Positionsdaten online eingesehen, abgespeichert und später analysiert werden. Damit können die Kapitäne ihre Manöver im Nachhinein noch einmal betrachten, diskutieren, und schwierige Passagen am Bildschirm wiederholen. Die Instrukturen haben die Möglichkeit, alle Aktivitäten am Monitor zu verfolgen und zu beurteilen.

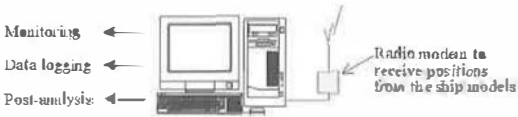


Abbildung 9: Systemaufbau der Master Control Station

Da die Ufer des Sillm Sees mit hohen Laubbaeumen bewachsen sind, und die Schiffe sehr nahe an die Uferzonen heranfahren, sind die Signalbedingungen fuer die auf den Schiffen montierten GPS Empfaenger aeusserst schwierig. Die Baeume verhindern teilweise den Empfang von GPS Signalen oder schwaechen diese ab. Die Blaetter der Baeume und die Wasseroberflaeche reflektieren die Signale und erzeugen somit Multipath.



Abbildung 10: Fahrt durch den Uebungskanal

Standard GPS Empfaneger koennen unter derartigen Bedingungen nur Positionen mit eingeschaenakter Genauigkeit zur Verfuegung stellen oder liefern teilweise gar keine Daten.

System 500 liefert auch unter diesen schwierigen Bedingungen hervorragende Ergebnisse. Nach ausgiebigen Tests verschiedener GPS Systeme wurde System 500 ausgewaehlt, da ueber den gesamten Einsatzbereich der Schiffe praezise Positionsdaten erzielt werden konnten. Dies ist ein direktes Ergebnis der in den vorigen Kapiteln beschriebenen ClearTrak(tm) Technologie.

4. Resumee

Aus dieser Anwendung und den angefuehrten Entwicklungen kann man erkennen, dass sich das Anwendungsspektrum fuer die praezise GPS Echtzeitpositionierung wesentlich erweitert hat. Auf modernen Technologien basierende GPS Empfaenger weisen beeindruckende Leistungsdaten auf und gestatten auch Einsaetze unter schwierigen und unguenstigen Bedingungen.

Der Vermessungsingenieur hat damit die Moeglichkeit, neue Aufgaben zu bewaeltigen, und traditionelle Taetigkeiten mit hoeherer Effizienz durchzufuehren.

Literatur

- [1] T.A. Stensell, J.E. Meenan: Optimized L2 Tracking, True Multipath Mitigation, Interference Protection, Future Signal Compatibility. Technical paper published by Leica Geosystems AG, March 1999.
- [2] C. Ziegler, H.-J. Euler: New Ambiguity Resolution Strategies, Improved Reliability in Difficult Environments, Shortened Ambiguity Resolution Times, Low Latency Results. Technical paper published by Leica Geosystems AG, March 1999.
- [3] P. Jackson: High-performance GPS - System 500. Technical paper published by Leica Geosystems AG, September 1999.

Anschrift des Autors:

Dr. Werner Daxinger, Leica Geosystem AG, CH-9435 Heerbrugg