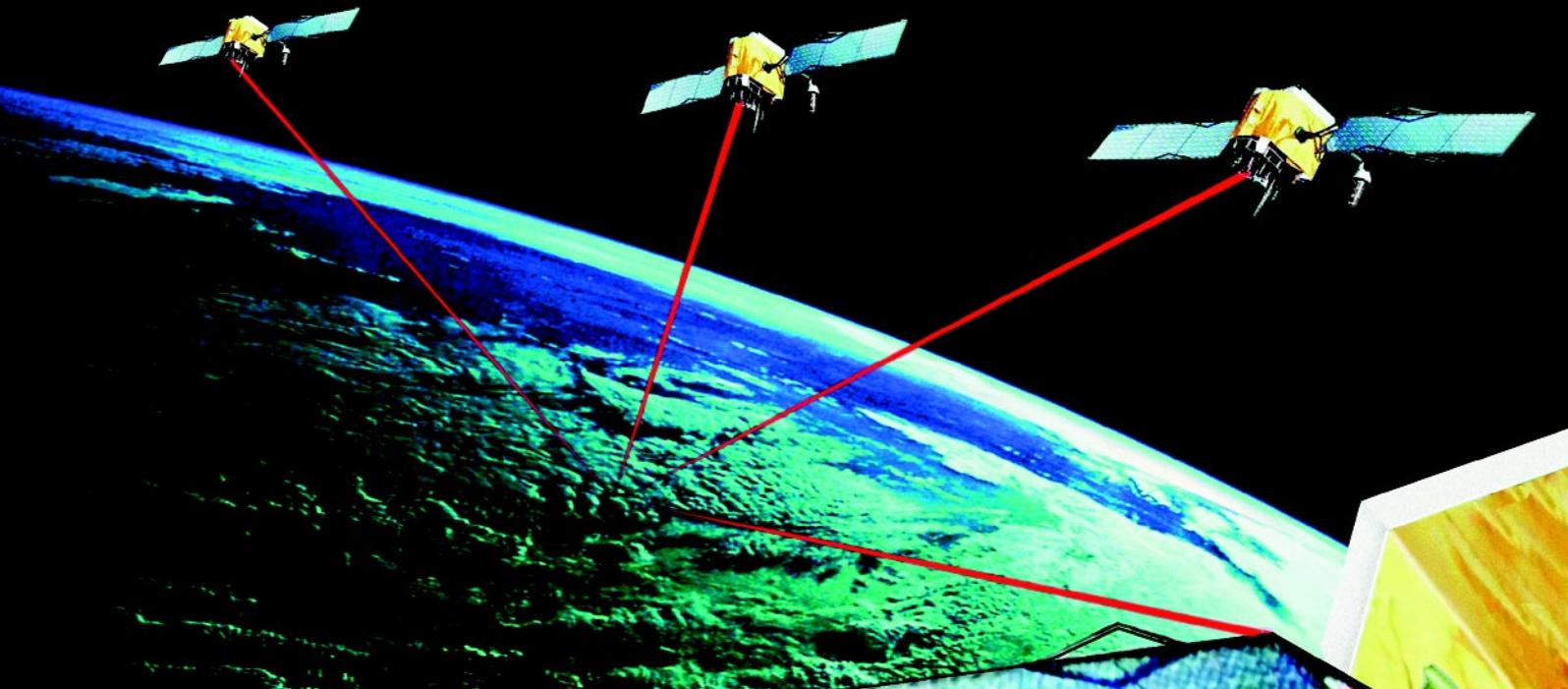


20 30 40 50

GPS Basics



Einführung in die GPS Vermessung (Global Positioning System)

Version 1.0
Deutsch

Leica

MADE TO MEASURE

Vorwort	4	4. Geodätische Aspekte	26
1. Was ist GPS – wozu dient GPS?	5	4.1. Einleitung	27
2. Systemüberblick	6	4.2. Das GPS-Koordinatensystem	28
2.1. Das Raumsegment	6	4.3. Lokale Koordinatensysteme	29
2.2. Das Kontrollsegment	8	4.4. Probleme mit der Höhe	30
2.3. Das Nutzersegment	9	4.5. Transformationen	31
3. Die Funktionsweise von GPS	10	4.6. Kartenprojektionen und ebene Koordinaten .	34
3.1. Einfache Navigation	11	4.6.1. Die Transversale Merkatorprojektion	35
3.1.1. Das GPS-Ortungsprinzip	11	4.6.2. Die Lambert-Projektion	37
3.1.2. Die Berechnung der Entfernung zum Satelliten ...	13	5. Vermessungen mit GPS	38
3.1.3. Fehlerquellen	14	5.1. GPS-Meßtechniken	39
3.1.4. Warum sind militärische Empfänger genauer ? ...	18	5.1.1. Statische Vermessungen	40
3.2. Differentiell korrigierte Positionen (DGPS)	19	5.1.2. Rapid-Static Vermessungen	42
3.2.1. Der Referenzempfänger	20	5.1.3. Kinematische Vermessungen	44
3.2.2. Der Rover-Empfänger	20	5.1.4. Vermessungen mit RTK	45
3.2.3. Weitere Details	20	5.2. Vorbereitung der Vermessungsarbeiten	46
3.3. Differentielle Trägerphasenmessungen und	22	5.3. Tips für die Vermessungsarbeiten	46
Lösung der Mehrdeutigkeiten	22	Glossar	48
3.3.1. Die Trägerphase, C/A- und P-Codes	22	Literatur	59
3.3.2. Warum die Trägerphase nutzen?	23		
3.3.3. Bildung von Doppel-Differenzen			
(Double Differencing)	23		
3.3.4. Die Anfangsmehrdeutigkeit und ihre Lösung	24		

Vorwort

4

1. Was ist GPS – wozu dient GPS?

5

2. Systemüberblick

6

3. Die Funktionsweise von GPS

10

4. Geodätische Aspekte

26

5. Vermessungen mit GPS

38

Glossar

48

Literatur

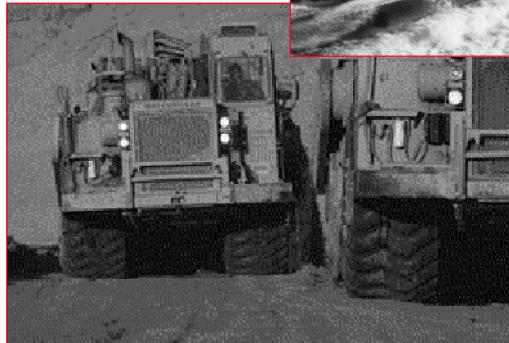
59

Warum dieses Buch geschrieben wurde und wer es lesen sollte

Leica stellt unter anderem GPS-Hardware und Software her. Diese Hard- und Software wird von vielen professionellen Anwendern in den verschiedensten Bereichen eingesetzt. Was nahezu alle unsere Anwender verbindet, ist, daß sie weder Wissenschaftler auf dem Gebiet des GPS noch Experten im Bereich der Geodäsie sind. Sie sind diejenigen, die GPS als Mittel zur Erfüllung ihrer Aufgaben einsetzen. Daher ist es von Nutzen, Hintergrundinformationen darüber zu haben, was GPS ist und wie es funktioniert.

Dieses Buch soll dem Neueinsteiger oder potentiellen GPS-Nutzer Hintergrundwissen auf dem Gebiet des GPS und der Geodäsie liefern. Es ist kein ausdrücklich technisches Handbuch für GPS oder Geodäsie. Viele Quellen dieser Art stehen zur Verfügung, von denen einige in dem beigefügten Literaturverzeichnis aufgeführt sind.

Dieses Buch teilt sich in zwei Teile. Im ersten wird das GPS als solches sowie seine Funktionsweise erklärt. Im zweiten Teil werden Grundlagen der Geodäsie vermittelt.



1. Was ist GPS – wozu dient GPS?

GPS ist die Kurzform für NAVSTAR GPS, welches seinerseits als Acronym steht für **NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System**. GPS stellt eine Lösung dar für eines der ältesten und schwerwiegendsten Probleme der Menschheit. Es liefert eine Antwort auf die Frage: „Wo auf der Welt bin ich hier eigentlich?“.



Man könnte sich vorstellen, daß sich diese Frage leicht beantworten lassen müßte. Ist es doch mit Blick auf die umliegenden Objekte relativ einfach, den eigenen Standpunkt in Relation zu eben denselben auszumachen. Aber was ist, wenn es an umliegenden Objekten mangelt? Wie ist das mitten in der Wüste oder auf hoher See? Viele Jahrhunderte hindurch ist dieses Problem mittels Navigation nach der Sonne und den Sternen

gelöst worden. Und auch an Land bedienten sich Vermessungsingenieure und Forscher bekannter Referenzpunkte, auf die sie ihre Messungen aufbauten oder um so den richtigen Weg zu finden.

Diese Methoden funktionierten gut, jedoch nur innerhalb bestimmter Grenzen. Bei Bewölkung, beispielsweise, sind Sonne und Sterne nicht zu sehen. Außerdem kann selbst mit hoch-präzisen Messungen die Position nicht sehr genau bestimmt werden.

Nach dem zweiten Weltkrieg schien es dem U.S. Verteidigungsministerium unumgänglich, eine Lösung für das Problem der hochgenauen, absoluten Positionierung zu finden. Verschiedene Projekte und Experimente liefen während der folgenden 25 Jahre, so z.B. Transit, Timation, Loran, Decca und viele andere. Alle diese Projekte erlaubten eine Positionsbestimmung, jedoch nicht mit der gewünschten Genauigkeit und Funktionalität.

Zu Beginn der 70er Jahre wurde ein neues Projekt vorgestellt - GPS. Dieses Konzept versprach, all die Anforderungen der US-Regierung zu erfüllen, so die Möglichkeit, jederzeit, bei jedem Wetter, an jedem Ort auf der Erde die eigene Position hochgenau bestimmen zu können.

GPS ist ein satellitenbasiertes System, das mit Hilfe einer Konstellation von 24 Satelliten

dem Anwender eine genaue Position liefert. An dieser Stelle ist es wichtig, den Begriff ‚genau‘ näher zu definieren: Für einen Wanderer oder einen Soldaten in der Wüste bedeutet ‚genau‘ ungefähr 15 m. Für ein Schiff in Küstengewässern bedeutet ‚genau‘ 5 m. Für einen Vermessungsingenieur bedeutet ‚genau‘ 1 cm oder weniger. GPS kann eingesetzt werden, um all diese Genauigkeiten in all diesen Anwendungsbereichen zu erreichen. Der Unterschied liegt in der Art des GPS-Empfängers und der eingesetzten Technik.

Ursprünglich war GPS gedacht, zu jeder Zeit an jedem Ort auf der Erde Einsätze im militärischen Bereich zu unterstützen. Doch schon bald nachdem die ersten Vorschläge gemacht worden waren, wurde deutlich, daß auch Zivilisten GPS würden nutzen können, und zwar nicht nur zur Bestimmung der eigenen Position (wie für den militärischen Einsatz konzipiert). Wie sich herausstellte, waren die ersten beiden Hauptanwendungen im zivilen Bereich die Navigation auf See sowie die Vermessung. Heute reichen die Anwendungen von fahrzeugautonomen Ortungs- und Navigaitonssystemen über den Einsatz im Bereich Logistik von Transportunternehmen (‘‘Flottenmanagement’’) bis hin zur Automation und Steuerung von Baumaschinen.

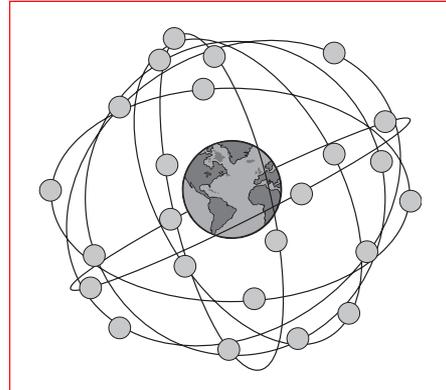
2. Systemüberblick

Die gesamte GPS-Konfiguration umfaßt drei verschiedene Segmente:

- Das Raumsegment – d.h. die Satelliten, die die Erde umkreisen
- Das Kontrollsegment – d.h. Stationen entlang des Erdäquators zur Kontrolle der Satelliten
- Das Nutzersegment – d.h. jeder, der das GPS-Signal empfängt und verarbeitet

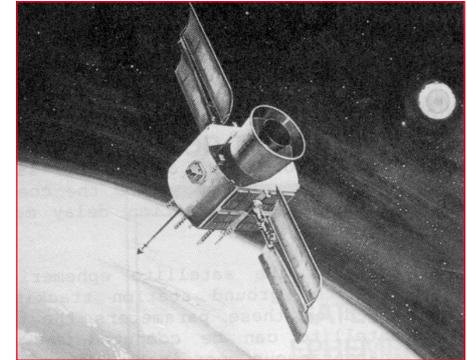
2.1. Das Raumsegment

Das Raumsegment ist so konzipiert, daß es aus 24 Satelliten bestehen soll, die die Erde in einer Höhe von ungefähr 20200 km alle 12 Stunden umrunden. Zur Zeit umkreisen 26 einsatzfähige Satelliten die Erde.



GPS-Satellitenkonstellation

Des weiteren ist das Raumsegment so angelegt, daß immer mindestens 4 Satelliten über einem Mindestelevationswinkel von 15° sichtbar sind und zwar zu jeder Zeit und an jedem Ort der Erde. Vier Satelliten sind das Minimum, das für die meisten Anwendungen sichtbar sein muß. Die Erfahrung zeigt, daß üblicherweise mindestens 5 Satelliten über 15° sichtbar sind, häufig sogar 6 oder 7.



GPS-Satellit

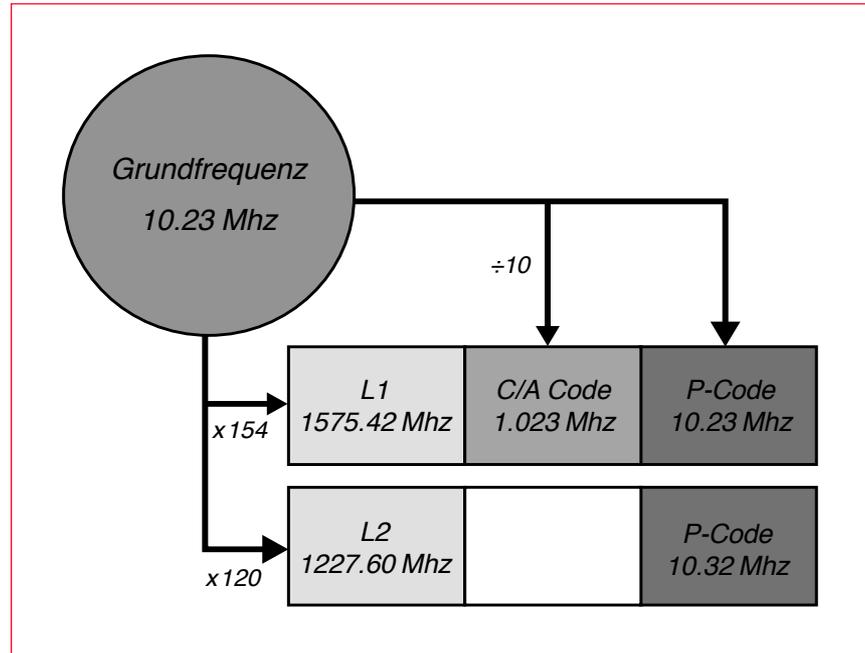
Jeder GPS-Satellit hat mehrere hochgenaue Atomuhren an Bord. Die Uhren arbeiten mit einer Grundfrequenz von 10,23 Mhz, die gebraucht wird, um das von den Satelliten gesendete Signal zu generieren.

Die Satelliten senden permanent zwei Trägerwellen aus. Diese Trägerwellen liegen im L-Band (für Funk gebraucht) und erreichen die Erde mit Lichtgeschwindigkeit. Diese Trägerwellen werden von der Grundfrequenz abgeleitet, die von einer sehr präzisen Atomuhr generiert wird:

- Die L1-Trägerwelle wird mit 1575,42 MHz gesendet, das sind $154 \cdot 10,23$ MHz
- Die L2-Trägerwelle wird mit 1227,60 MHz gesendet, das sind $120 \cdot 10,23$ MHz

Der L1 Trägerwelle sind dann zwei Codes aufmoduliert. Der C/A-Code (Coarse/Aquisition Code) wird mit 1,023 MHz ($10,23$ MHz/10) und der P-Code (Precision Code) mit 10,23 MHz aufmoduliert. Dem L2-Träger wird nur ein Code aufmoduliert und zwar der L2 P-Code mit 10,23 MHz.

GPS-Empfänger gebrauchen die unterschiedlichen Kodierungen, um die Satelliten zu unterscheiden. Die Codes können ferner als Basis für Pseudo-Entfernungsmessungen zur Positionsbestimmung genutzt werden.



GPS-Signalstruktur

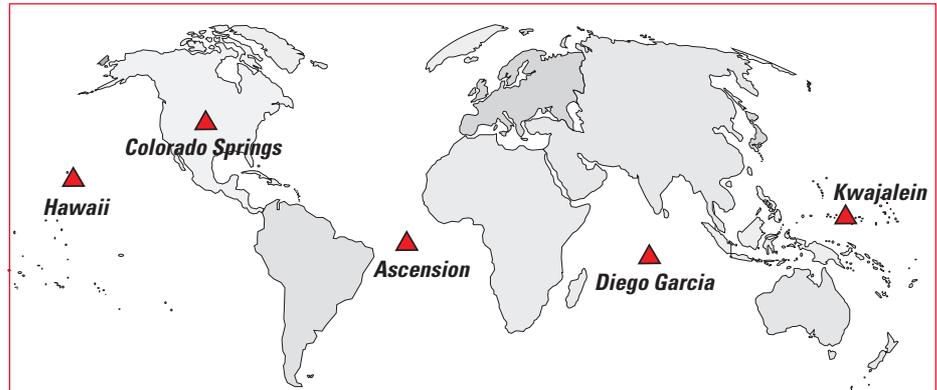
2.2. Das Kontrollsegment

Das Kontrollsegment besteht aus einer Hauptkontrollstation, der sogenannten Master Control Station (MCS), 5 Monitorstationen und 4 Telemetriestationen (Bodenantennen) verteilt über 5 Orte, die in etwa auf dem Äquator liegen.

Das Kontrollsegment verfolgt die GPS-Satelliten, aktualisiert ihre Umlaufposition und kalibriert sowie synchronisiert ihre Uhren.

Eine weitere wichtige Funktion ist, die Umlaufbahn eines jeden Satelliten zu bestimmen und seinen Weg für die nächsten 24 Stunden vorherzusagen. Diese Information wird jedem Satelliten eingespeist, um anschließend von ihm gesendet zu werden. Damit ist der GPS-Empfänger in der Lage zu wissen, wo jeder einzelne Satellit erwartungsgemäß zu finden sein wird.

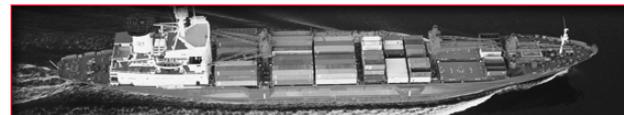
Die Satellitensignale werden auf Ascension, Diego Garcia und Kwajalein aufgezeichnet. Die Messungen werden dann zur Hauptkontrollstation nach Colorado Springs gesendet. Dort werden sie weiterverarbeitet, um mögliche Fehler in den einzelnen Satelliten aufzudecken. Die so gewonnenen Informationen werden dann zurück an die vier mit Bodenantennen ausgestatteten Monitorstationen gesendet und an die Satelliten übertragen.



Stationierung der Kontrollsegmente

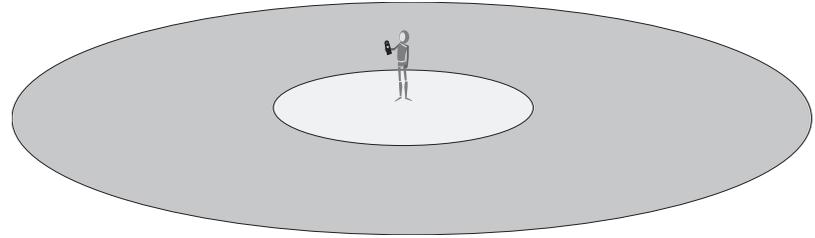
2.3. Das Nutzersegment

Das Nutzersegment umfaßt all diejenigen, die einen GPS-Empfänger einsetzen, um das GPS-Signal zu empfangen und so ihre Position und / oder Zeit zu bestimmen. Typische Anwendungen innerhalb des Nutzersegments sind die Navigation auf Land für Wanderer, die Bestimmung von Fahrzeugpositionen oder die Vermessung, die Navigation auf See, Navigation in der Luftfahrt, Maschinensteuerung usw.

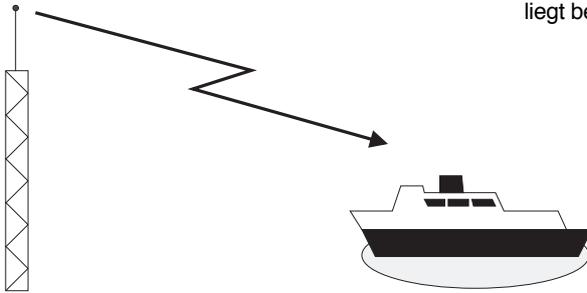


3. Die Funktionsweise von GPS

Um mittels GPS eine Position zu erhalten, gibt es verschiedenste Methoden. Welche der Methoden gewählt wird, hängt sowohl von der geforderten Genauigkeit als auch vom Typ des zur Verfügung stehenden GPS-Empfängers ab. Allgemein gesprochen können die Techniken in drei Basisklassen unterteilt werden:

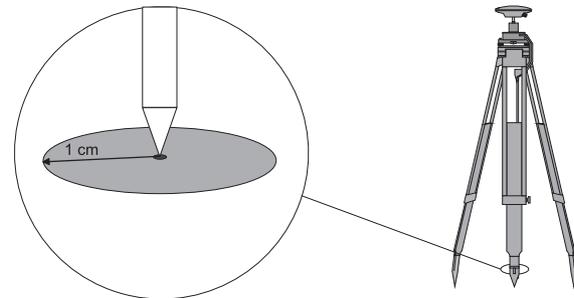


Autonome Navigation mit einem einzigen, ohne Korrekturdaten arbeitenden Empfänger; eingesetzt von Wanderern, Schiffen auf hoher See oder auch dem Militär. Die Positionierungsgenauigkeit ist besser als 100 m für zivile Nutzer und liegt bei etwa 20 m bei militärischer Nutzung.



Differenziell korrigierte Positionierung, eher bekannt unter der Bezeichnung DGPS (Differentielles GPS), das eine Genauigkeit zwischen 0.5 - 5 Metern liefert. Einsatzbereiche sind die Küstennavigation, die Erfassung von Daten für Geoinformationssysteme, die intensive landwirtschaftliche Nutzung usw.

Differenzielle Phasenmessung. Sie liefert eine Genauigkeit von 0.5 - 20 mm und wird sowohl zu Vermessungszwecken als auch zur Maschinensteuerung usw. eingesetzt.



3.1. Einfache Navigation

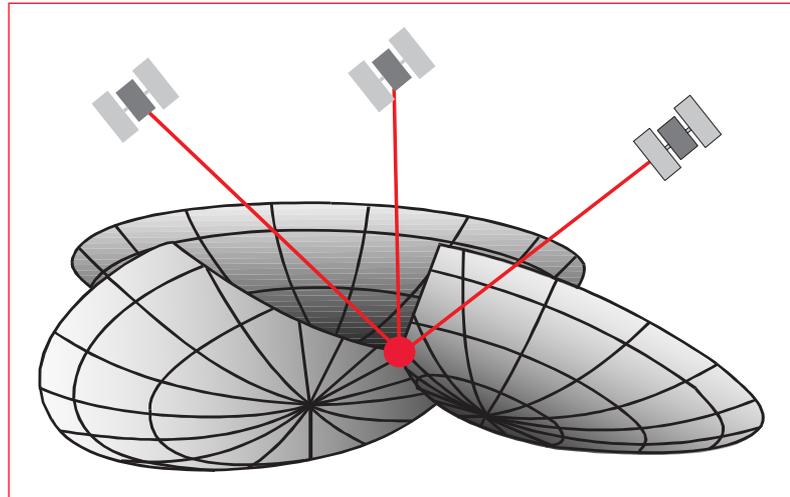
Dies ist die einfachste Technik, die von GPS-Empfängern eingesetzt wird, um dem Anwender augenblicklich eine Position sowie Höhe und / oder genaue Zeit zu liefern. Die erreichte Genauigkeit liegt für den zivilen Nutzer bei unter 100m (für gewöhnlich um die 30...50 m Marke) und bei 5...15 m für das Militär. Die Gründe für den Unterschied zwischen ziviler und militärischer Genauigkeit sollen später in diesem Abschnitt genannt werden. Die Empfänger, die für diesen Betriebsmodus gebraucht werden, sind typischerweise kleine, gut transportable Einheiten, die in der Hand gehalten werden können und wenig kosten.



*In einer Hand zu haltender
GPS-Empfänger, sog. handheld*

3.1.1. Das GPS-Ortungsprinzip

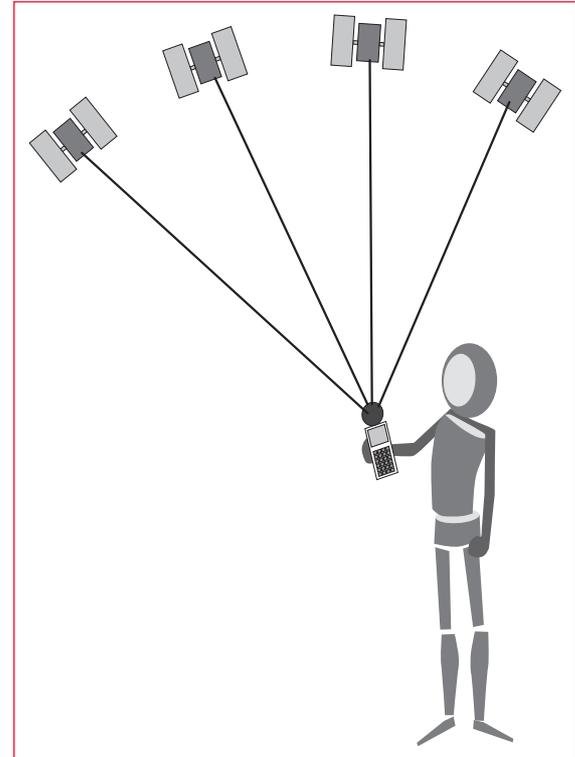
Alle mit GPS bestimmten Positionen basieren auf der Entfernungsmessung zwischen den Satelliten und dem GPS-Empfänger auf der Erde. Die Distanz zu jedem der Satelliten kann vom GPS-Empfänger bestimmt werden. Die zugrunde liegende Idee ist die des mehrfachen Bogenschlags, der zur täglichen Arbeit vieler Vermessungsingenieure gehört. Wenn die Entfernung zu drei Punkten relativ zur eigenen Position bekannt ist, kann die eigene Position im Verhältnis zu diesen drei Punkten bestimmt werden. Von der Entfernung zu nur einem Satelliten ist bekannt, daß die Position des Empfängers irgendwo auf der Oberfläche einer imaginären Kugel liegen muß, deren Mittelpunkt im Satelliten liegt. Durch den Schnitt dreier imaginärer Kugelschalen kann die Empfängerposition bestimmt werden.



Schnitt von drei imaginären Kugelschalen

Das Problem dabei ist, daß der Zeitoffset der Empfängeruhr in Bezug auf die GPS-Zeit nicht bekannt ist. Deshalb können mit GPS nur Pseudostrecken gemessen werden und die Zeit, zu der das Signal im Empfänger einläuft.

Daher bleiben vier Unbekannte zu bestimmen: die Position (X, Y, Z) sowie der Zeitoffset der Empfängeruhr. Die Beobachtung von vier Satelliten liefert die zur Bestimmung dieser Unbekannten benötigten vier Gleichungen.



Mindestens vier Satelliten werden benötigt, um eine Position und die Zeit im dreidimensionalen Raum bestimmen zu können

3.1.2. Die Berechnung der Entfernung zum Satelliten

Um die Entfernung zu jedem einzelnen Satelliten berechnen zu können, wird eines der Newton'schen Gesetze der Kinematik herangezogen:

Weg = Geschwindigkeit x Zeit

Beispielsweise ist es möglich, den Weg, den ein Zug zurückgelegt hat, zu berechnen, wenn sowohl die Geschwindigkeit, mit der er gefahren ist, als auch die Zeit, die er mit dieser Geschwindigkeit gefahren ist, bekannt sind.

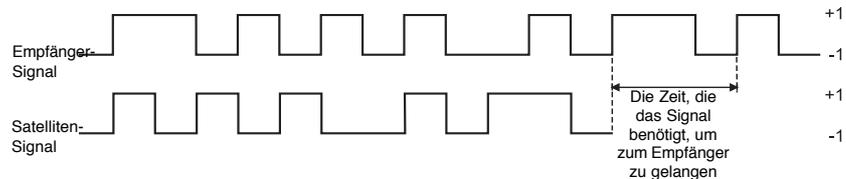
GPS fordert vom Empfänger die Berechnung der Entfernung vom Empfänger zum Satelliten.

Die Geschwindigkeit ist die Geschwindigkeit des Funksignals. Radio-Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, d.h. mit 290.000 km pro Sekunde.

Die Zeit ist die Zeit, die das Funksignal braucht, um vom Satelliten zum GPS-Empfänger zu gelangen, was ein wenig schwieriger zu berechnen ist, da bekannt sein muß, wann das Funksignal den Satelliten verlassen und den Empfänger erreicht hat.

Berechnung der Zeit

Das Satellitensignal hat zwei Codes aufmoduliert, den C/A-Code und den P-Code (siehe Abschnitt 2.1.). Der C/A-Code basiert auf der Zeit, die gegeben ist durch eine hochgenaue Atomuhr. Der Empfänger enthält ebenfalls eine Uhr, die gebraucht wird, um einen entsprechenden C/A-Code zu generieren. Der GPS Empfänger ist dann in der Lage, den einlaufenden Satellitencode mit dem vom Empfänger generierten Code durch Verschieben zur Deckung zu bringen, zu korrelieren.



Der C/A-Code ist ein digitaler Code, der pseudo-zufällig ist bzw. zufällig zu sein scheint. In Wahrheit ist er nicht zufällig, sondern wiederholt sich tausend mal pro Sekunde.

Auf diese Art und Weise wird die Zeit berechnet, die das Funksignal braucht, um vom Satelliten zum GPS-Empfänger zu gelangen.

3.1.3. Fehlerquellen

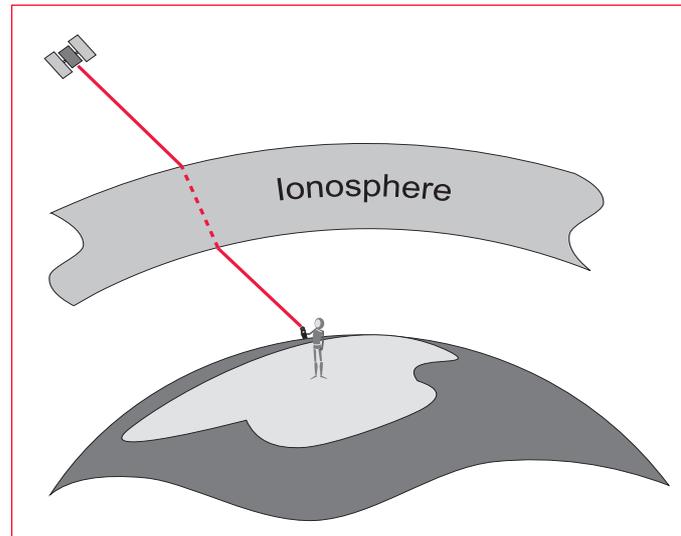
Bis zu diesem Punkt galt die Annahme, daß die mittels GPS bestimmte Position hochgenau ist und fehlerfrei. Jedoch gibt es da verschiedene Fehlerquellen, die die Genauigkeit der GPS-Position von theoretisch nur wenigen Metern praktisch auf einige Zehnermeter herabsetzen. Diese Fehlerquellen sind:

1. Ionosphärische und troposphärische Laufzeitverzögerung
2. Satelliten- und Empfängeruhrenfehler
3. Mehrwegeeffekte
4. Dilution of Precision (DOP)
5. Selective Availability (S/A)
6. Anti-Spoofing (A-S)

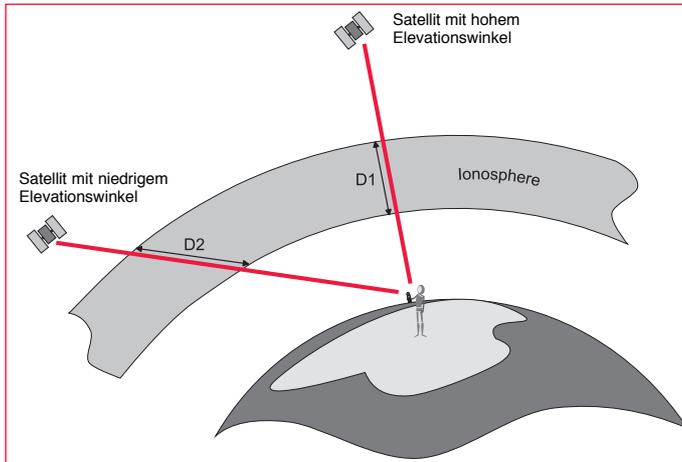
1. Ionosphärische und troposphärische Laufzeitverzögerung

Indem das Satellitensignal die Ionosphäre durchläuft, kann es verlangsamt werden, mit einem Effekt, ähnlich dem der Lichtbrechung in einem Glasblock. Diese Refraktionsinflüsse können zu einem Fehler in der Entfernungsberechnung führen, da die Geschwindigkeit des Signals beeinflusst wird. (Licht hat nur im Vakuum eine konstante Geschwindigkeit).

Die Ionosphäre übt jedoch nicht etwa eine konstante Verzögerung auf das Signal aus. Das Ausmaß der durch die Ionosphäre bedingten Refraktion wird von verschiedenen Faktoren bestimmt:



a.) Elevation der Satelliten. Signale von Satelliten mit niedriger Elevation sind stärker von der ionosphärischen Laufzeitverzögerung betroffen als Satellitensignale mit größerem Höhenwinkel. Das rührt daher, daß die Signale von niedrigen Satelliten einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegen müssen.



b.) Beeinflussung der Dichte der Ionosphäre durch die Sonne. Bei Nacht ist der Einfluß der Ionosphäre gering. Tagsüber jedoch vergrößert die Sonne den ionosphärischen Effekt und verlangsamt so das Signal.

Das Ausmaß, mit dem die Dichte der Ionosphäre zunimmt, variiert mit den Sonnenzyklen (mit der Aktivität der Sonnenflecken).

Die Sonnenaktivität erreicht ungefähr alle 11 Jahre ihren Höhepunkt. Der nächste Höhepunkt wird um das Jahr 2000 erwartet.

Hinzu kommt, daß von Zeit zu Zeit Eruptionen auf der Sonne (sog. flares) auftreten, die ebenfalls einen Einfluß auf die Ionosphäre ausüben.

Fehler bedingt durch die Ionosphäre können unter Verwendung einer der beiden folgenden Methoden gemindert werden:

- Die erste Methode geht von einer mittleren Geschwindigkeitsreduktion

bedingt durch ionosphärische Effekte aus. Dieser Korrekturfaktor kann dann auf die Entfernungsberechnungen angewendet werden. Zu beachten bleibt, daß von einem Durchschnittswert ausgegangen wird und

daß der angenommene Durchschnittszustand der Ionosphäre offensichtlich nicht zu jeder Zeit gegeben ist. Diese Methode ist daher nicht die optimale Lösung für die Korrektur ionosphärischer Fehler.

- Die zweite Methode setzt den Gebrauch von Zwei-Frequenz GPS-Empfängern voraus. Derartige Empfänger messen die L1 und L2 Frequenzen des GPS-Signals. Es ist bekannt, daß, wenn ein Funksignal die Ionosphäre durchläuft, es um ein Maß umgekehrt proportional zu seiner eigenen Frequenz verlangsamt wird. Daher kann unter Vergleich der Ankunftszeiten der beiden Signale die Verzögerung genau eingeschätzt werden. Zu beachten ist hier, daß dies nur mit Zwei-Frequenz GPS-Empfängern möglich ist. Die meisten Empfänger für Navigationszwecke sind jedoch Ein-Frequenz Empfänger.

c.) Beeinflussung des GPS-Signals durch die Luftfeuchtigkeit. Ferner kann in der Atmosphäre enthaltener Wasserdampf das GPS-Signal beeinflussen. Dieser Effekt, der eine Verschlechterung der Positioniergenauigkeit zur Folge hat, kann mittels atmosphärischer Modelle reduziert werden.

2. Satelliten- und Empfängeruhrenfehler

Obwohl die Uhren in den Satelliten hochgenau sind (auf ungefähr 3 Nanosekunden), driften sie manchmal leicht ab und verursachen kleine Fehler, die die Positioniergenauigkeit negativ beeinflussen. Das US-Verteidigungsministerium überwacht die Satellitenuhren mit dem Kontrollsegment (siehe Abschnitt 2.2.) und kann jede vorgefundene Abweichung korrigieren.

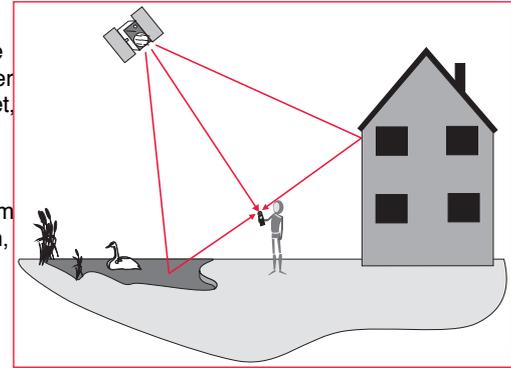
3. Mehrwegeeffekte

Mehrwegeeffekte treten auf, wenn sich die Antenne des Empfängers in der Nähe einer großen reflektierenden Oberfläche befindet, wie beispielsweise der eines Sees oder Gebäudes. Das Satellitensignal läuft dann nicht direkt zur Antenne, sondern trifft zunächst auf das nahegelegene Objekt, um dann auf die Antenne reflektiert zu werden, was zu einem verfälschten Meßergebnis führt.

Mehrwegeeffekte können durch den Gebrauch von speziellen GPS-Antennen reduziert werden. Solche Antennen bestehen aus einer zusätzlichen Bodenplatte (einer runden, metallischen Scheibe von ungefähr 50 cm Durchmesser), die verhindert, daß Signale niedriger Elevation die Antenne überhaupt erreichen.



Choke-Ring Antenne

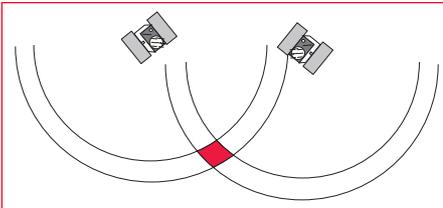


Um höchste Genauigkeiten zu erzielen, wird der Gebrauch einer sogenannten Choke-Ring Antenne bevorzugt. Eine solche Antenne besteht aus vier oder fünf konzentrischen Ringen rund um die eigentliche Antenne, die jedes indirekte Signal abfangen.

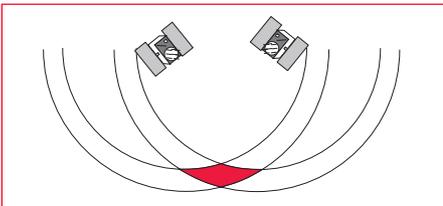
Mehrwegeeffekte beeinflussen lediglich geodätische Messungen hoher Genauigkeit. Bei einfachen, in der Hand zu haltenden Navigationsempfängern werden oben genannte Abschirmtechniken nicht angewandt.

4. Dilution of Precision

Der sogenannte Dilution of Precision (DOP) ist ein Maß für die Güte der Satellitengeometrie und bezieht sich auf die räumliche Verteilung der Satelliten am Himmel. Der DOP-Wert wirkt als Faktor auf den Entfernungsmeßfehler. Das Prinzip kann am besten mittels Diagrammen verdeutlicht werden:



Geometrisch gut verteilte Satelliten - geringer Unsicherheitsfaktor in der Positionsbestimmung



Räumlich schlecht verteilte Satelliten - hoher Unsicherheitsgrad in der Positionsbestimmung

Die Bestimmung der Entfernung zum Satelliten wird beeinflusst von Fehlern, wie sie oben beschrieben worden sind. Wenn die Satelliten räumlich gut zueinander positioniert sind, liegt die Genauigkeit der Positionsbestimmung innerhalb des im Diagramm markierten Feldes. Die zu erwartenden Abweichungen sind klein.

Wenn die Satelliten jedoch nahe beieinander stehen, vergrößert sich das markierte Gebiet und damit die Unsicherheit in der Positionsbestimmung.

Es können folgende unterschiedliche DOP-Typen berechnet werden:

VDOP – vertikaler DOP. Der VDOP ist ein Maß für die Genauigkeit in vertikaler Richtung.

HDOP – horizontaler DOP. Der HDOP ist ein Maß für die Genauigkeit in horizontaler Richtung.

PDOP – Positions-DOP. Der PDOP ist ein Maß für die Genauigkeit der im Raum bestimmten Position (3D).

GDOP – geometrischer DOP. Der GDOP ist ein Maß für die Genauigkeit der im Raum bestimmten Position unter Berücksichtigung der Zeit (vierdimensional).

Dabei ist der nützlichste aller DOP-Werte der GDOP, da er alle zur Positionierung benötigten

Faktoren kombiniert. Einige Empfänger berechnen nur den PDOP oder den HDOP und damit DOP-Werte, die die Zeitkomponente unberücksichtigt lassen.

Die beste Möglichkeit den GDOP zu minimieren ist, so viele Satelliten wie möglich zu beobachten. Zu beachten bleibt jedoch, daß die Signale von Satelliten mit niedriger Elevation generell in stärkerem Maße von den meisten zuvor genannten Fehlerquellen beeinflusst sind.

Als Richtschnur für Messungen mit GPS kann gelten, daß es am besten ist Satelliten zu beobachten, die mindestens 15° über dem Horizont stehen. Die genauesten Positionen werden in der Regel mit einem niedrigen GDOP ermittelt (gewöhnlich 8 oder weniger).

3.1.4. Warum sind militärische Empfänger genauer?

5. Selective Availability (S/A)

Selective Availability ist ein Vorgang, der vom US-Verteidigungsministerium auf das GPS-Signal angewandt wird. Damit ist beabsichtigt, dem zivilen Nutzer sowie feindlich gesonnenen fremden Staaten die volle Genauigkeit von GPS zu versagen, indem die Satellitenuhren einem Prozeß genannt „Zittern“ unterzogen werden, der ihre Zeit leicht verändert. Zusätzlich werden die Ephemeriden (oder Bahndaten) leicht verändert gesendet. Das Resultat ist eine Verringerung der Positionsgenauigkeit.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, daß S/A nur diejenigen zivilen Nutzer betrifft, die einen einzelnen GPS-Empfänger benutzen um eine autonome Position zu erhalten. Anwender von differentiellen Systemen werden von S/A nicht sonderlich beeinträchtigt.

Zur Zeit ist geplant, S/A bis spätestens 2006 abzuschalten.

6. Anti-Spoofing (A-S)

Anti-Spoofing ist in sofern S/A ähnlich, als daß es beabsichtigt, zivilen Nutzern sowie feindlichen Mächten den Zugang zum P-Code des GPS-Signals zu verwehren und somit den Gebrauch des C/A-Codes zu forcieren, auf den allerdings S/A angewandt wird.

Anti-Spoofing verschlüsselt den P-Code in ein neues Signal genannt Y-Code. Nur Nutzer mit militärischen GPS-Empfängern (d.h. die USA und ihre Verbündeten) können den Y-Code entschlüsseln.



Ein militärischer Handheld-Receiver (mit Genehmigung von Rockwell)

Militärische Empfänger sind deswegen genauer, weil sie nicht den C/A-Code nutzen, um die Zeit zu berechnen, die das Signal braucht, um den Empfänger zu erreichen. Sie gebrauchen den P-Code.

Der P-Code ist der Trägerwelle mit 10,23 Hz aufmoduliert. Der C/A-Code ist der Trägerwelle nur mit 1,023 Hz aufmoduliert. Somit können Entfernungen sehr viel genauer mit dem P-Code berechnet werden, da dieser Code sich zehn mal so oft pro Sekunde wiederholt wie der C/A-Code.

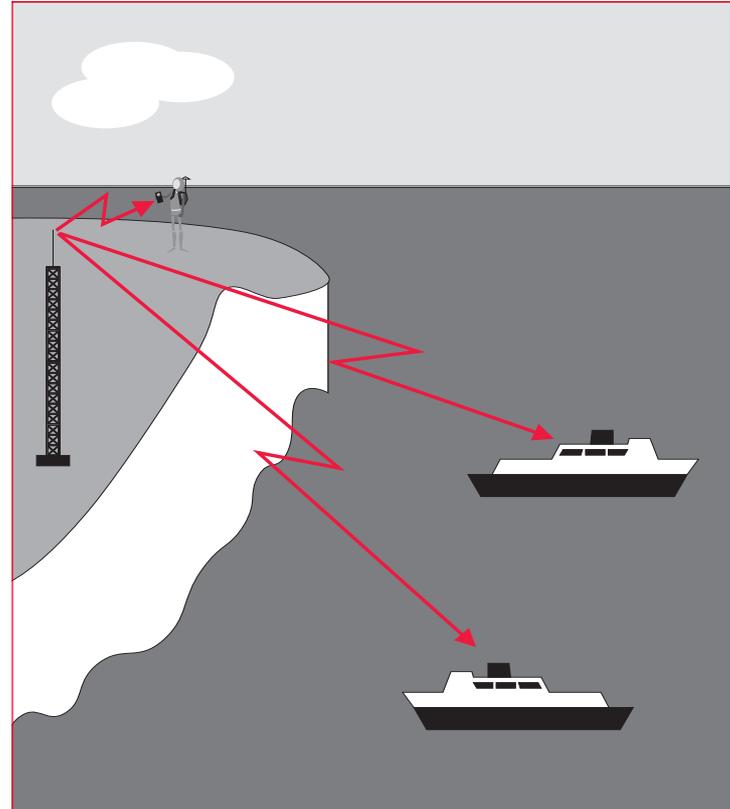
Der P-Code ist jedoch oft – wie im vorherigen Kapitel beschrieben – dem Anti-Spoofing (A-S) unterworfen, was bedeutet, daß nur das Militär, ausgerüstet mit speziellen GPS-Empfängern, den verschlüsselten P-Code (auch bekannt als Y-Code) lesen kann.

Aus diesen Gründen erhalten die Nutzer von militärischen GPS-Empfängern die Position in der Regel mit einer Genauigkeit von ungefähr fünf Metern, wohingegen zivile Nutzer vergleichbarer GPS-Empfänger lediglich eine Positionsgenauigkeit zwischen 15...100 m erreichen werden.

3.2. Differentiell korrigierte Positionen (DGPS)

Viele der Fehler, die die Entfernungsmessung zu den Satelliten beeinflussen, können komplett eliminiert oder zumindest signifikant reduziert werden, indem differentielle Meßmethoden angewandt werden.

DGPS erlaubt dem zivilen Nutzer, die Positionierungsgenauigkeit von 100 m auf 2...3 m oder sogar weniger zu steigern, d.h. eine Genauigkeit zu erreichen, die wesentlich brauchbarer ist für die meisten zivilen Anwendungen.



DGPS-Referenzstation im Sendebetrieb an die einzelnen Nutzer

3.2.1. Der Referenzempfänger

Die Antenne des Referenzempfängers wird über einem zuvor eingemessenen Punkt mit bekannten Koordinaten aufgebaut. Der Empfänger, der an diesem Punkt positioniert wird, wird Referenzempfänger oder Basisstation genannt.

Mit Einschalten des Empfängers beginnt dieser, Satelliten zu verfolgen, und kann so mittels der in Abschnitt 3.1. genannten Techniken eine autonome Position berechnen.

Da der Referenzempfänger auf einem bekannten Punkt steht, läßt sich höchst präzise einschätzen, wie groß die Entfernungen zu den einzelnen Satelliten sein sollten.

So kann der Referenzempfänger die Differenz zwischen den berechneten und den gemessenen Entfernungsbeträgen bestimmen. Diese Differenzen sind dann als Korrekturwerte bekannt.

Üblicherweise ist der Referenzempfänger an eine Funk-Datenverbindung angeschlossen, die genutzt wird, um diese Korrekturwerte zu senden.

3.2.2. Der Rover-Empfänger

Der Rover-Empfänger befindet sich am anderen Ende der Korrekturwerte. Er ist mit einer Funk-Datenverbindung ausgestattet, die es ermöglicht, die vom Referenzempfänger gesendeten Entfernungskorrekturen zu empfangen.

Der Rover-Empfänger berechnet ebenfalls, wie in Abschnitt 3.1. beschrieben, die Entfernungen zu den Satelliten und wendet dann die von der Referenz empfangenen Korrekturwerte darauf an. So läßt sich eine sehr viel genauere Position berechnen als mit den unkorrigierten Entfernungsmessungen.

Unter Verwendung dieser Technik werden all die Fehlerquellen, die in Abschnitt 3.1.3. genannt worden sind, minimiert und so eine genauere Position erhalten.

Bleibt darauf hinzuweisen, daß mehrere Rover-Empfänger gleichzeitig die Korrekturwerte einer einzigen Referenzstation empfangen können.

3.2.3. Weitere Details

DGPS ist in sehr einfacher Weise in den vorherigen Kapiteln erklärt worden. In Wirklichkeit ist es schon etwas komplexer als oben beschrieben.

So z.B. die Betrachtung der Funkverbindung: es gibt viele Typen von Funkverbindungen, die über unterschiedliche Reichweiten hinweg und auf verschiedenen Frequenzen senden. Die Güte der Funkverbindung hängt ab von einer Reihe von Faktoren, so unter anderem:

- von der Sendefrequenz
- von der Sendeleistung
- vom Typ und dem Empfangsgewinn der Funkantenne
- von der Antennenposition

Netzwerke von GPS-Empfängern und starke Radio-Sender sind eingerichtet worden, die auf einer "rein-maritimen" Sicherheitsfrequenz senden und als Beacon Transmitter bekannt sind. Die Nutzer dieses Dienstes (meistenteils die Schiffsnavigation in Küstengewässern) müssen lediglich einen Rover-Empfänger kaufen, der das Beacon-Signal empfangen kann. Systeme wie diese sind bereits entlang der Küsten vieler Länder eingerichtet worden.

Andere Mittel wie beispielsweise Mobiltelefone können ebenfalls zur Datenübertragung genutzt werden.

Zusätzlich zu Beacon-Systemen existieren andere Systeme, die weite Landesteile abdecken und von kommerziellen Privatunternehmen betrieben werden. Darüber hinaus liegen Vorschläge für staatliche Systeme vor, wie das Federal Aviation Authority's satellite-based Wide Area Augmentation System (WAAS) in den U.S.A. oder das System der European Space Agency (ESA) sowie ein Vorschlag der japanischen Regierung.

Für das Sendeformat von GPS-Daten existiert ein allgemein gebrauchter Standard, genannt RTCM-Format. Die Abkürzung steht für Radio Technical Commission Maritime Services, eine von der Industrie gesponserte, nicht profitorientierte Organisation. Das RTCM-Format wird allgemein überall auf der Welt genutzt.

3.3. Differentielle Trägerphasenmessungen und Lösung der Mehrdeutigkeiten

3.3.1. Die Trägerphase, C/A- und P-Codes

Differentielle Trägerphasenmessungen werden hauptsächlich im Vermessungs- und artverwandten Industriezweigen verwendet, um relative Positionierungsgenauigkeiten von typischerweise 5...50 mm zu erreichen. Die hierfür eingesetzte Technik unterscheidet sich von den zuvor beschriebenen Verfahren und beinhaltet eine Menge statistischer Analysen.

Da es sich um eine differentielle Technik handelt, ist der simultane Einsatz von mindestens zwei GPS-Empfängern Voraussetzung, worin eine Ähnlichkeit zu der in Abschnitt 3.2. beschriebenen Differentiellen Code-Messung besteht.

Der Referenzempfänger wird immer auf einem Punkt mit festgelegten oder bekannten Koordinaten positioniert. Der bzw. die anderen Empfänger können sich frei bewegen. Daher werden sie auch Rover-Empfänger genannt. Die Basislinien zwischen Referenz- und Roverempfängern werden berechnet.

Grundsätzlich ist die Technik dieselbe wie bei den zuvor beschriebenen Vorgehensweisen: es werden die Entfernungen zu vier Satelliten gemessen und daraus eine Position berechnet.

Der große Unterschied besteht darin, wie diese Entfernungen berechnet werden.

An dieser Stelle ist es sinnvoll, die verschiedenen Komponenten des GPS-Signals näher zu definieren.

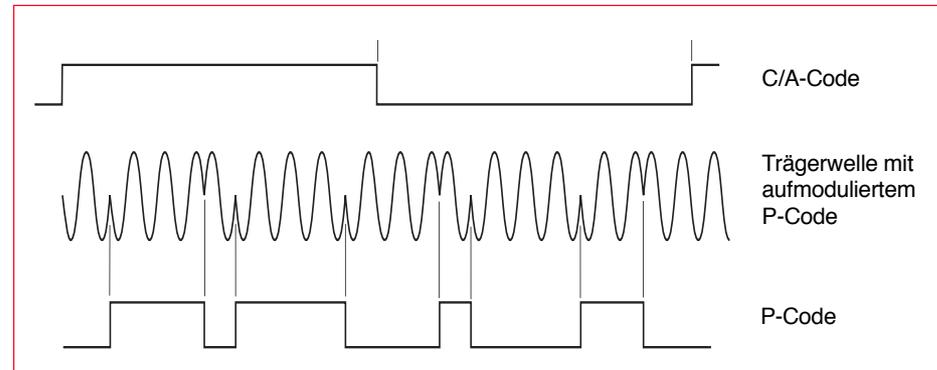
Die Trägerphase ist die Sinuswelle des L1 oder L2 Signals, das vom Satelliten erzeugt wird. Der L1 Träger wird mit 1575,42 MHz generiert, der L2 Träger mit 1227,6 MHz.

Der C/A-Code ist der Coarse Acquisition Code ("grober" Code). Er wird der L1 Trägerwelle mit 1,023 MHz aufmoduliert.

Der P-Code ist der präzise Code, der dem L1 sowohl als auch dem L2 Träger mit 10,23 MHz aufmoduliert wird. (Siehe hierzu auch das Diagramm in Abschnitt 2.1.)

Was bedeutet Modulation?

Die Trägerwellen sind so konzipiert, daß sie den binären C/A- und P-Code in einem Prozeß genannt Modulation tragen. Modulation bedeutet, daß die Codes auf die Trägerwelle aufgesetzt werden. Die Codes sind binäre Codes, was bedeutet, daß sie nur die Werte 1 oder -1 annehmen können. Jedesmal wenn der Wert sich ändert, resultiert daraus eine Änderung in der Phase der Trägerwelle.



Modulation der Trägerwelle

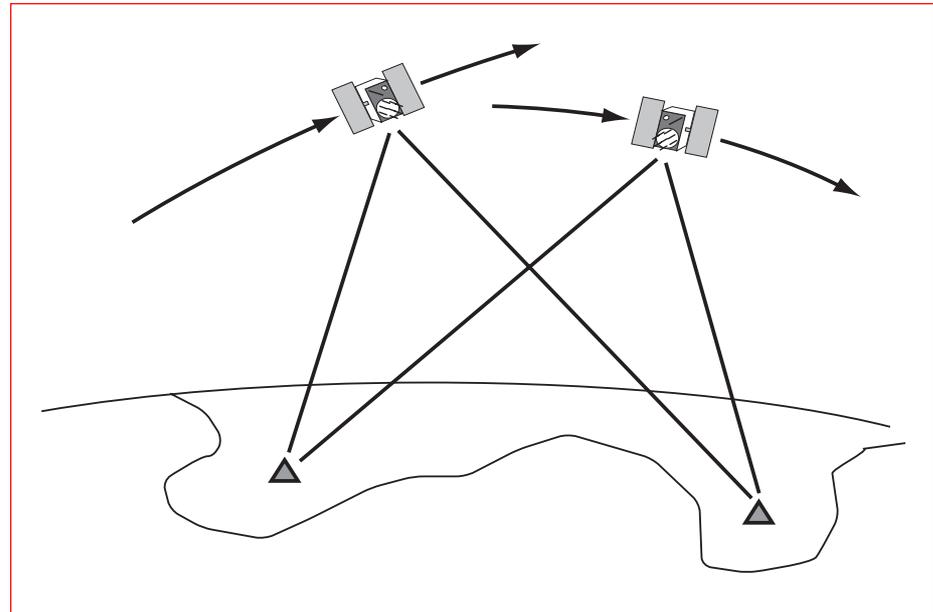
3.3.2. Warum die Trägerphase nutzen?

Die Trägerphase wird für die Messung genutzt, da mit ihrer Hilfe ein sehr viel genaueres Anmessen der Satelliten möglich ist als unter Verwendung des P-Codes oder C/A-Codes. Die L1 Trägerwelle hat eine Wellenlänge von 19,4 cm. Könnte man die Anzahl der Wellenlängen (ganze sowohl als auch Bruchteile) zwischen dem Satelliten und dem Empfänger messen, so läge eine hochgenau bestimmte Entfernung zum Satelliten vor.

3.3.3. Bildung von Doppel-Differenzen (Double Differencing)

Der Großteil des Fehlers, der auftritt, wenn eine autonome Position bestimmt werden soll, hat seine Ursache in der Unvollkommenheit der Empfänger- und Satellitenuhren. Eine Möglichkeit, diesen Fehler zu umgehen, ist, die Technik des sogenannten Double Differencing einzusetzen.

Wenn zwei GPS-Empfänger zwei Satelliten anmessen, fallen bei Bildung der Doppel-differenzen die Offsets (und ihre Fehlereinflüsse) der Empfängeruhren und der Satellitenuhren aus der Rechnung heraus.



Bildung von Doppel-Differenzen

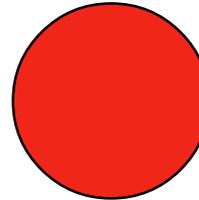
3.3.4. Die Anfangsmehrdeutigkeit und ihre Lösung

Nachdem mittels doppelter Differenzbildung die Uhrenfehler aus der Rechnung herausgefallen sind, kann die ganze Anzahl der Trägerwellenlängen plus dem Bruchteil einer Wellenlänge zwischen dem Satelliten und der Empfängerantenne bestimmt werden. Das Problem dabei ist, daß eine große Anzahl möglicher ganzer Wellenlängen zu jedem beobachteten Satelliten vorliegt, womit die gefundene Lösung mehrdeutig ist. Statistische Prozesse jedoch können diese Mehrdeutigkeit auflösen und die wahrscheinlichste Lösung bestimmen.

Die folgende Erklärung gibt eine Übersicht darüber, wie die Auflösung der Anfangsmehrdeutigkeiten funktioniert. Viele der komplizierteren Faktoren werden durch diese Erklärung nicht abgedeckt, sie stellt jedoch eine hilfreiche Veranschaulichung dar.

Differentielle Code-Messungen können gebraucht werden, um

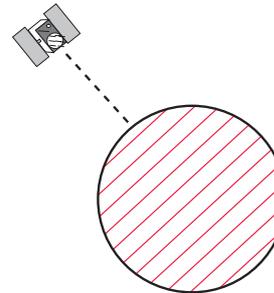
1.



eine genäherte Position zu erhalten. Die genaue Lösung muß irgendwo innerhalb dieses Kreises liegen.

Die Wellenfronten von einem einzigen Satelliten treffen

2.

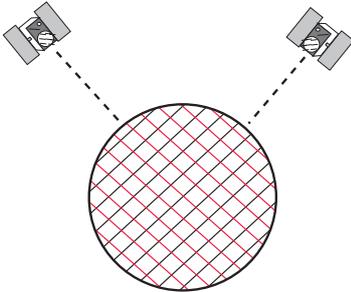


sowohl innerhalb als auch außerhalb dieses Kreises auf. Der präzise Punkt muß irgendwo auf einer der Linien liegen, die durch diese Wellenfronten innerhalb des Kreises gebildet werden.

Es folgt...

Wenn ein zweiter Satellit beobachtet wird, entsteht

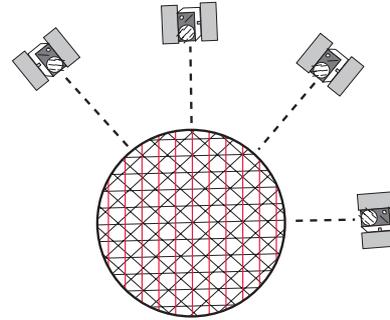
3.



ein zweiter Satz von Wellenfronten bzw. Phasenlinien. Die genaue Position muß auf einem der Kreuzungspunkte dieser beiden Sätze von Phasenlinien liegen.

Mit Hinzukommen eines dritten Satelliten wird

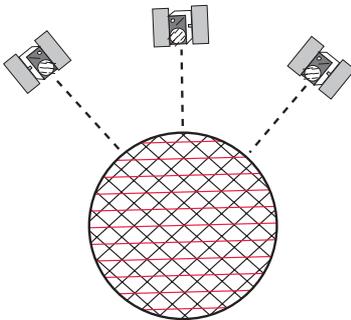
5.



die Anzahl der Möglichkeiten noch einmal.

Mit Änderung der Satellitenkonstellation, zeigt sich

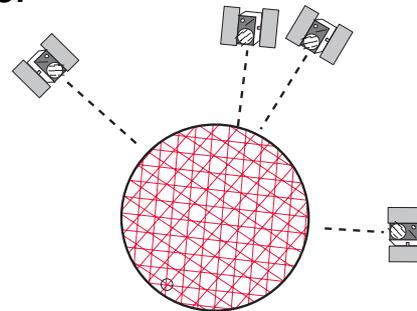
4.



die Anzahl der möglichen Positionen weiter eingegrenzt. Der Punkt muß nun auf einem der Kreuzungspunkte aller drei Phasenlinien liegen.

Kommt ein vierter Satellit hinzu, verringert sich

6.

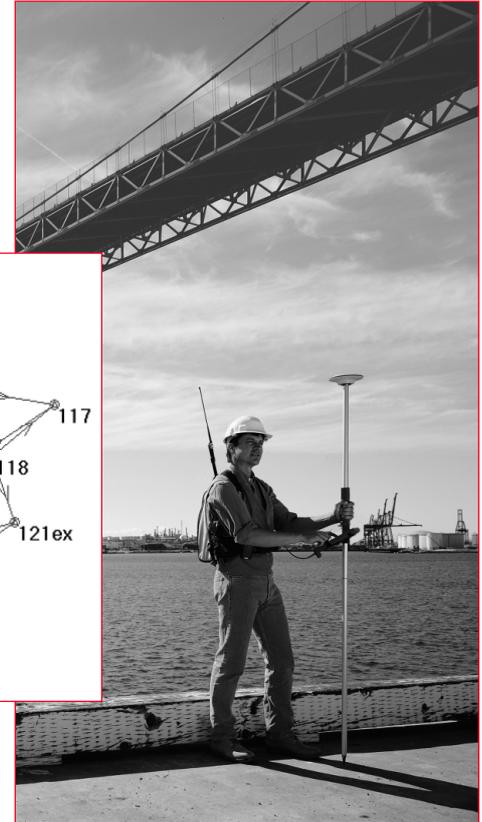
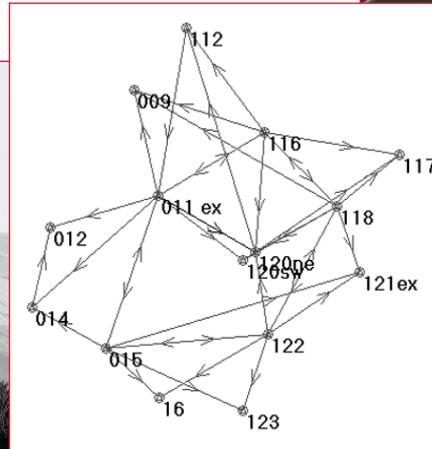
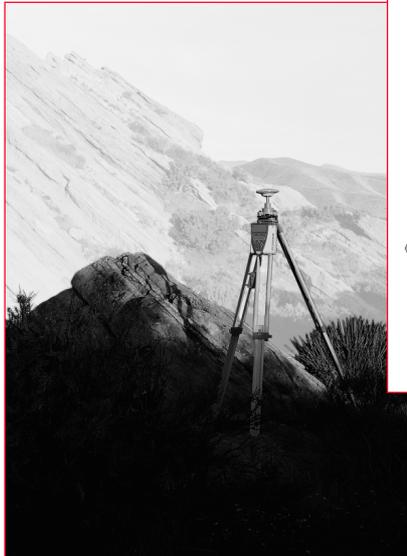


die Tendenz einer Rotation um einen Punkt und damit die wahrscheinlichste Lösung der Mehrdeutigkeiten.

4. Geodätische Aspekte

Da GPS als Vermessungs- und Navigationsinstrument zunehmend populär geworden ist, benötigen sowohl Vermessungsingenieure als auch Navigatoren ein Grundverständnis dafür, in welcher Beziehung mit GPS bestimmte Positionen zu den herkömmlichen Koordinatensystemen stehen.

Eine übliche Fehlerquelle bei GPS-Vermessungen resultiert aus der unkorrekten Kenntnis dieses Zusammenhangs.



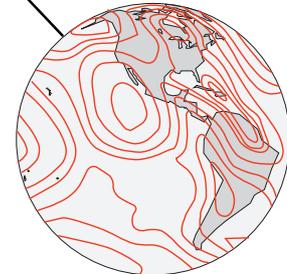
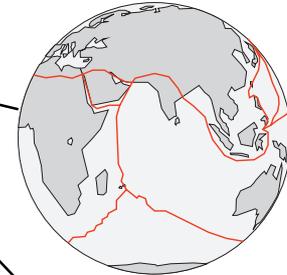
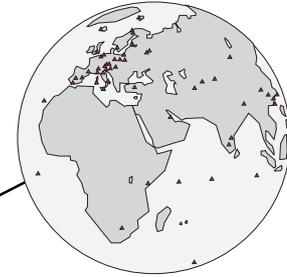
4.1. Einleitung

Mit der Positionsbestimmung mit GPS wird ein grundlegendes Ziel der Geodäsie erreicht - die absolute Positionsbestimmung mit einheitlicher Genauigkeit in allen Punkten auf der Erdoberfläche. Unter Verwendung klassischer geodätischer und vermessungstechnischer Methoden gestaltet sich die Positionsbestimmung immer nur relativ zu den Ausgangspunkten der jeweiligen Vermessung. Die erreichte Genauigkeit ist dabei abhängig von der Entfernung zu diesen Punkten. Daher bietet GPS einen entscheidenden Vorteil gegenüber den konventionellen Techniken.

Die Wissenschaft der Geodäsie ist grundlegend für GPS, umgekehrt ist GPS zu einem der Hauptwerkzeuge in der Geodäsie geworden, was sich mit einem Blick auf die Zielsetzungen der Geodäsie zeigt:

1. Einrichtung und Erhaltung von nationalen und globalen dreidimensionalen geodätischen Kontrollnetzen an Land, unter Beachtung der Zeitabhängigkeit dieser Netze aufgrund von tektonischen Plattenbewegungen.
2. Messung und Präsentation geodynamischer Phänomene, wie Polbewegungen, Erdzeiten und Krustenbewegungen.
3. Bestimmung des Gravitationsfeldes auf der Erde einschließlich temporärer Veränderungen.

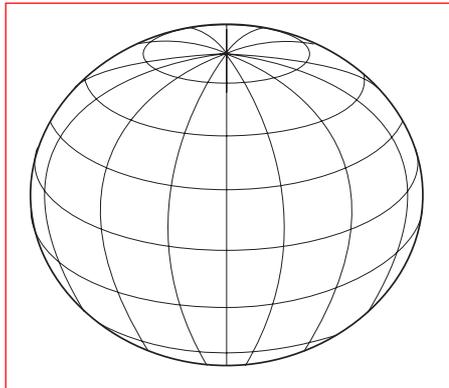
Obwohl die Mehrzahl der Anwender wahrscheinlich niemals an der Ausführung oben genannter Aspekte beteiligt sein wird, ist es dennoch wichtig, daß die Nutzer einer GPS-Ausrüstung ein generelles Verständnis von der Geodäsie haben.



4.2. Das GPS-Koordinatensystem

Obwohl die Erde vom Weltraum aus gesehen wie eine einheitliche Kugel erscheinen mag, ist ihre Oberfläche von Einheitlichkeit weit entfernt. Aufgrund der Tatsache, daß GPS an jedem Punkt der Erdoberfläche Koordinaten liefern muß, nutzt es ein ellipsoidisches Koordinatensystem. Ein Ellipsoid (auch bekannt als ein Rotationsellipsoid) entspricht einer abgeplatteten Kugel.

Es wird ein Ellipsoid gewählt, das am ehesten die Form der Erde approximiert. Dieses Ellipsoid hat keine physische Oberfläche, stellt jedoch eine mathematisch definierte Oberfläche dar.

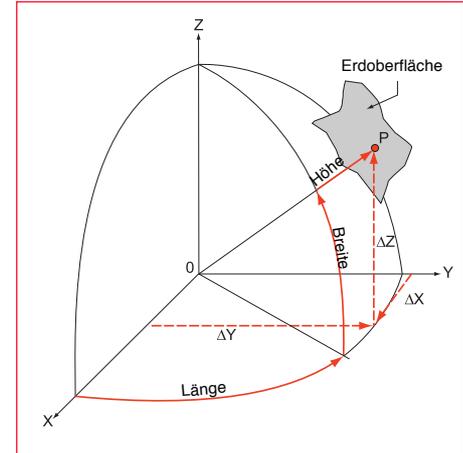


Ein Ellipsoid

In der Tat gibt es viele verschiedene Ellipsoide bzw. mathematische Definitionen der Erdoberfläche, was später diskutiert werden wird. Das von GPS gebrauchte Ellipsoid ist bekannt als WGS84 (World Geodetic System 1984).

Ein beliebiger Punkt auf der Erdoberfläche (man beachte, daß dieser i.a. nicht auf der Oberfläche des Ellipsoids liegt) kann mit Hilfe von Länge, Breite und ellipsoidischer Höhe definiert werden.

Eine alternative Methode zur Definition der Position eines Punktes bietet das kartesische Koordinatensystem, das die Punktlage mit Hilfe der Abstände in den X-, Y- und Z-Achsen vom Ursprung bzw. vom Zentrum des Ellipsoids beschreibt. Dies ist die Methode, die in erster Linie von GPS genutzt wird, um die Lage eines Punktes im Raum zu definieren.



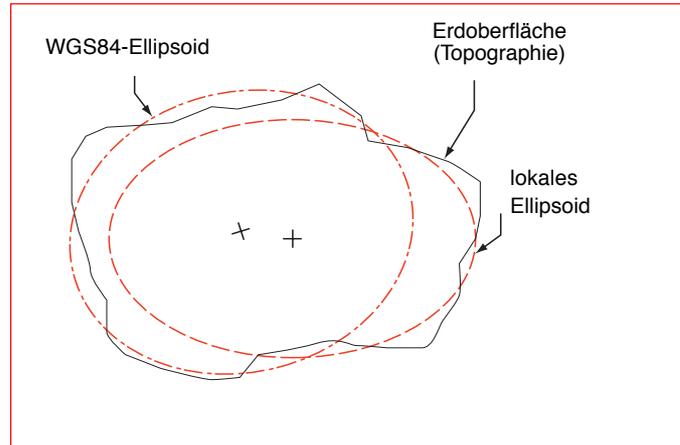
Definition der Koordinaten von P mit Hilfe geodätischer und kartesischer Koordinaten

4.3. Lokale Koordinatensysteme

Genauso wie GPS-Koordinaten beziehen sich lokale Koordinaten oder Koordinaten, die in den Abbildungen eines speziellen Landes gebraucht werden, auf ein Ellipsoid, allerdings auf ein lokales Ellipsoid, das sich dem Geoid (siehe Abschnitt 4.4.) in dem betreffenden Gebiet am besten anpaßt. Für gewöhnlich sind diese Koordinaten anschließend in eine Ebene projiziert, um Gitterkoordinaten zur Verfügung zu stellen (siehe Abschnitt 4.5.).

Die Ellipsoide, die den meisten lokalen Koordinatensystemen überall auf der Welt zugrunde liegen, sind bereits vor vielen Jahrzehnten definiert worden und zwar vor dem Aufkommen von Weltraumtechnologien. Diese Ellipsoide tendieren dazu, sich dem jeweiligen Gebiet, das von Interesse ist, gut anzupassen. In anderen Gebieten auf der Erde können sie jedoch nicht angewendet werden. Daher hat jedes Land sein eigenes Koordinatensystem / Bezugssystem basierend auf einem lokalen Ellipsoid definiert.

Unter Verwendung von GPS beziehen sich die Koordinaten der berechneten Positionen auf das WGS84-Ellipsoid. Bestehende Koordinaten liegen für gewöhnlich in einem lokalen Koordinatensystem vor, womit die GPS-Koordinaten einer Transformation in das jeweilige lokale System unterzogen werden müssen.



Darstellung der Beziehung zwischen dem Ellipsoid und der Erdoberfläche

4.4. Probleme mit der Höhe

Die Natur von GPS beeinflusst auch die Höhenmessung. Alle mit GPS gemessenen Höhen sind in Bezug zur Oberfläche des WGS84-Ellipsoids zu sehen. Es handelt sich also um ellipsoidische Höhen.

Bestehende Höhen sind für gewöhnlich orthometrische Höhen, die bestimmt sind mit Bezug zur mittleren Meereshöhe.

Die mittlere Meereshöhe entspricht einer Oberfläche, die unter dem Namen Geoid bekannt ist. Das Geoid kann definiert werden als eine Äquipotentialfläche.

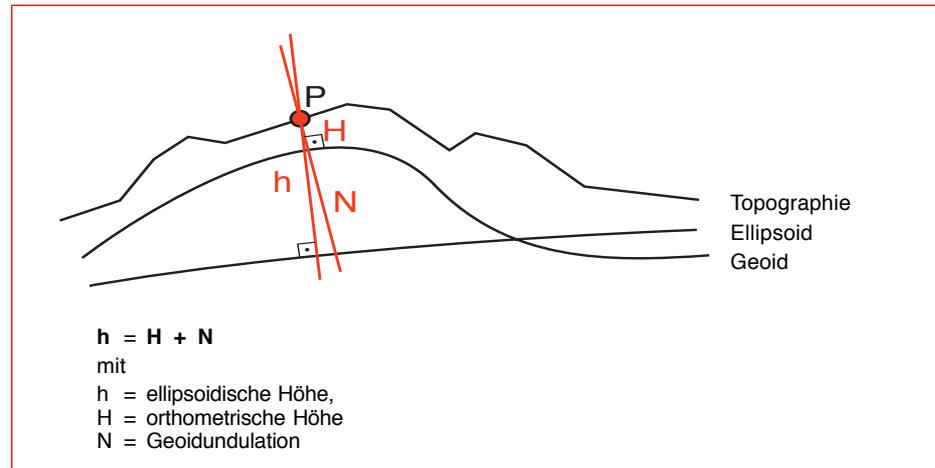
Das Geoid ist von irregulärer Form und entspricht in keiner Weise irgendeinem Ellipsoid. Die Dichteverteilung innerhalb der Erde übt einen gewissen Einfluß auf das Geoid aus, indem dadurch Hebungen in den dichteren Regionen und Senkungen in den weniger dichten Regionen verursacht werden.

Die Beziehungen zwischen dem Geoid, Ellipsoid und der Erdoberfläche sind in der Graphik dargestellt.

Da die meisten bestehenden Karten orthometrische Höhen enthalten (Bezug zum Geoid), fordern die meisten Nutzer von GPS ebenfalls die Angabe orthometrischer Höhen.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, indem Geoid-Modelle verwendet werden, um ellipsoidische Höhen in orthometrische Höhen umzuwandeln. In relativ flachen

Regionen kann die Abweichung zum Geoid als gleichmäßig betrachtet werden. In solchen Regionen läßt sich mit bestimmten Transformationstechniken ein Höhenmodell erzeugen und Geoid-Höhen können so aus bestehendem Datenmaterial interpoliert werden.



Relation zwischen orthometrischer Höhe und ellipsoidischer Höhe

4.5. Transformationen

Das Ziel einer Transformation ist es, Koordinaten von einem System in ein anderes zu überführen.

Es existieren verschiedene Transformationsansätze. Die Wahl eines bestimmten Ansatzes hängt vom geforderten Resultat ab.

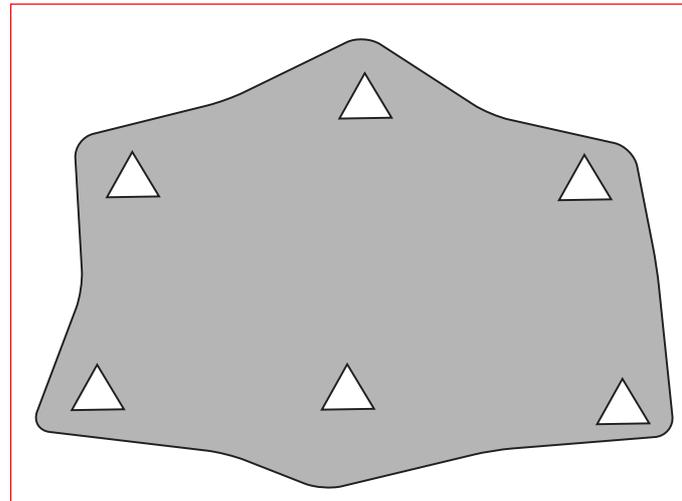
Die grundlegende Prozedur zur Bestimmung von Transformationsparametern im Felde ist immer dieselbe, unabhängig davon, welche Methode gewählt wird.

Zunächst müssen Koordinaten für mindestens drei – besser aber vier – gemeinsame Punkte in beiden Koordinatensystemen verfügbar sein (d.h. im WGS84 sowohl als auch im jeweiligen lokalen System). Je mehr gemeinsame Punkte in die Transformation mit einbezogen werden, desto größer ist die Redundanz und damit die Kontrolliertheit und die Möglichkeit zur Fehlerkontrolle.

Gemeinsame Punkte werden dadurch erzeugt, daß Punkte mit GPS bestimmt werden, von denen Koordinaten und orthometrische Höhen bereits im lokalen System gegeben sind (z.B. bestehende Aufnahmepunkte).

Die Transformationsparameter können dann berechnet werden, indem einer der möglichen Transformationsansätze zugrunde gelegt wird.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, daß die Transformation nur für das Gebiet zutrifft, das von den gemeinsamen Punkten umgeben ist. Punkte außerhalb dieses Gebietes sollten nicht mit den berechneten Parametern transformiert werden, sondern einem neuen Transformationsgebiet zugeschlagen werden.



Transformationen gelten innerhalb des von gemeinsamen Punkten umgebenen Gebietes

Helmert-Transformationen

Die 7-Parameter-Transformation nach Helmert bietet eine mathematisch korrekte Transformation, indem sie die Genauigkeit der GPS-Messungen sowie der lokalen Koordinaten aufrechterhält.

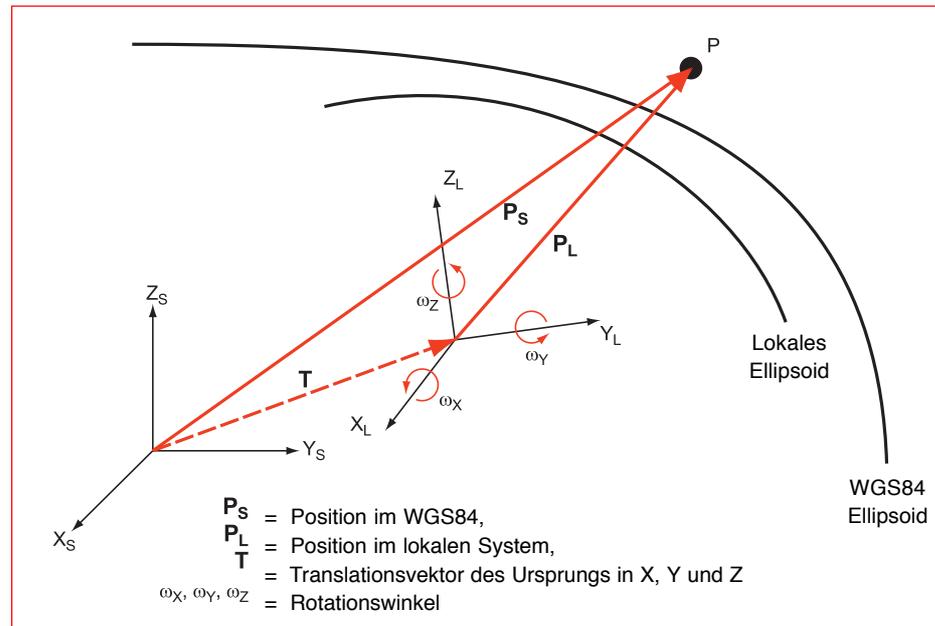
Die Erfahrung zeigt, daß im allgemeinen Vermessungen mit GPS eine deutlich höhere Genauigkeit erreichen als ältere Vermessungen mit traditionellen optischen Instrumenten.

In der Mehrzahl aller Fälle werden die einstmals gemessenen Punkte nicht so genau sein wie die neuen, mit GPS gemessenen Punkte, was zu Inhomogenitäten im Netz führen kann.

Wenn ein Punkt von einem Koordinatensystem in ein anderes transformiert wird, ist es am einfachsten, den Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems als veränderlich zu betrachten und nicht die Oberfläche, auf der er liegt.

Um eine Koordinate von einem System in ein anderes zu transformieren, müssen Ursprung und Achsen der Ellipsoide in Bezug zueinander bekannt sein. Anhand dieser Information kann die Verschiebung im Raum in X, Y, und Z von einem Koordinatenursprung zum anderen bestimmt werden,

gefolgt von je einer Rotation um die X-, Y- und Z-Achse und einer Maßstabsänderung zwischen den beiden Ellipsoiden.



Die 7-Parameter-Transformation nach Helmert

Andere Transformationsansätze

Während der Ansatz der Helmert-Transformation mathematisch korrekt ist, kann er gewissen Irregularitäten im lokalen Koordinatensystem nicht gerecht werden. Des Weiteren müssen für eine genaue Höhenbestimmung die Geoidundulationen bekannt sein.

Darum stellt Leica in ihrem Equipment und ihrer Software darüberhinaus andere Transformationsansätze zur Verfügung.

Der sogenannte **Interpolations-Ansatz** baut nicht auf das Wissen um das lokale Ellipsoid oder die Kartenprojektion auf.

Mit Inkonsistenzen in den lokalen Koordinaten wird so verfahren, daß alle GPS-Koordinaten durch Dehnung oder Stauchung homogen in das lokale System eingepaßt werden.

Zusätzlich kann ein Höhenmodell konstruiert werden, das unter der Voraussetzung ausreichend vieler Kontrollpaßpunkte mangelnde Informationen über die Geoidundulation kompensiert.

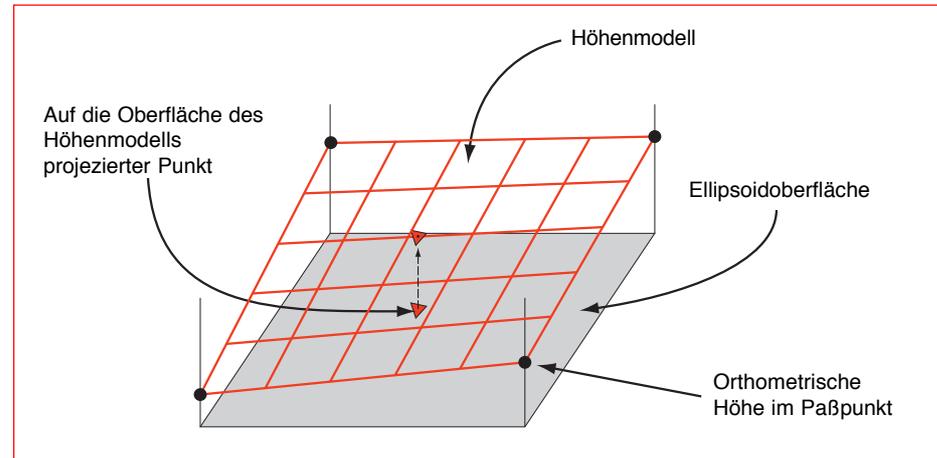
Alternativ zum Interpolationsansatz kann der **One-Step Ansatz** gewählt werden. Dieser Transformationsansatz hält ebenfalls die Behandlung von Höhen- und Lage-transformation getrennt. Zwecks Lage-

transformation werden die WGS84-Koordinaten auf eine temporäre Transversale Merkator-Projektion abgebildet. Erst dann werden Translation, Rotation und Maßstab von der temporären Projektion in die "tatsächliche" Projektion berechnet. Die Höhentransformation entspricht einer eindimensionalen Höhenapproximation.

Diese Transformation kann bevorzugt in Gebieten eingesetzt werden, wo das lokale Ellipsoid ebenso unbekannt ist wie die Kartenprojektion und wo das Geoid einigermaßen konstant ist.

Sowohl der Interpolations- als auch der One-Step-Ansatz sollten auf ein Gebiet von ungefähr 15 * 15 km begrenzt werden.

Eine Kombination von Helmert-Transformation und Interpolationsansatz kann in einer **schrittweisen Transformation** gefunden werden. Dieser Ansatz nutzt für die Bestimmung der Punktlage eine 2D-Helmert-Transformation. Um die Höhe zu erhalten, wird eine Höheninterpolation angesetzt. Lokales Ellipsoid und die Kartenprojektion werden als bekannt vorausgesetzt.



Mit Hilfe von 4 Paßpunkten generiertes Höhenmodell

4.6. Kartenprojektionen und ebene Koordinaten

Die meisten Vermessungsingenieure messen und nehmen Koordinaten in einem orthogonalen Gittersystem. Das bedeutet, daß Punkte durch einen Rechtswert in Ost-richtung und einen Hochwert in Nordrichtung sowie die Angabe einer orthometrischen Höhe (Höhe über Meeresniveau) definiert sind. Projektionen in die Kartenebene erlauben den Vermessungsingenieuren, eine dreidimensionale gewölbte Fläche auf

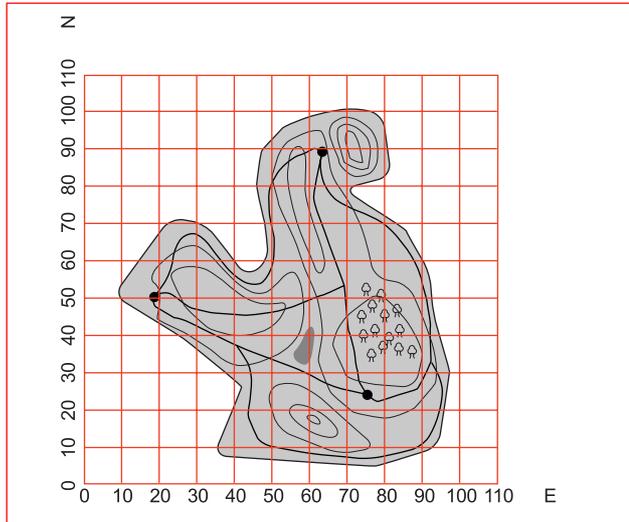
einem ebenen Blatt Papier darzustellen.

Solche Kartenprojektionen erscheinen als Ebenen, tatsächlich aber definieren sie die mathematischen Schritte zur Spezifizierung der Lage auf einem Ellipsoid in Form einer Ebene.

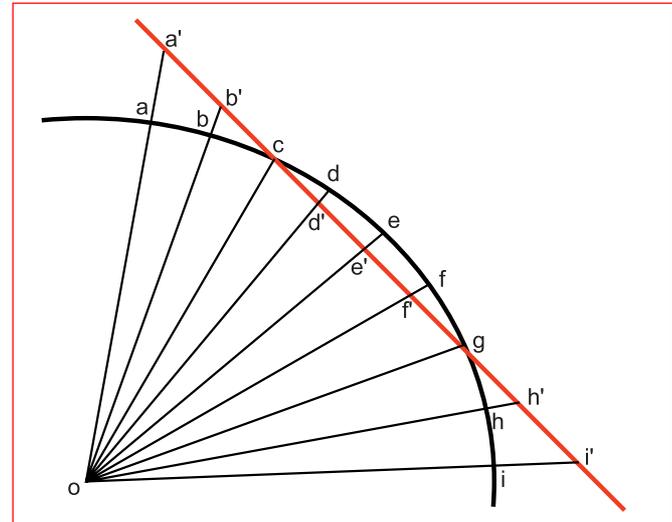
Die generelle Vorgehensweise bei einer Projektion in die Kartenebene wird anhand des Diagramms aufgezeigt. Punkte auf der

Oberfläche des Ellipsoids werden ausgehend vom Ursprung des Ellipsoids auf eine ebene Oberfläche projiziert.

Darüber hinaus erklärt das Diagramm, daß es nicht möglich ist, wahre Längen oder Formen in einer solchen Ebene darzustellen. Wahre Längen ergeben sich nur dort, wo die Ebene das Ellipsoid schneidet (Punkte c und g).



Eine ebene, auf ein Gitternetz bezogene Karte



Der Grundgedanke einer Kartenprojektion

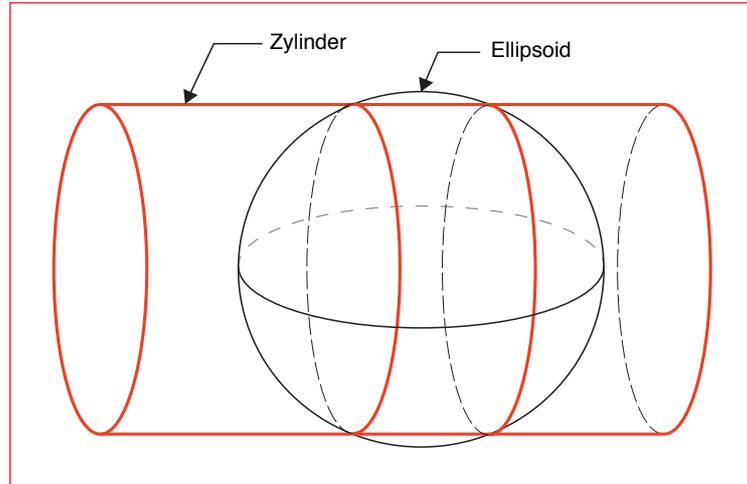
4.6.1. Die Transversale Merkatorprojektion

Die Transversale Merkatorprojektion ist eine konforme Abbildung. Das bedeutet, alle Winkelmessungen auf der Projektionsoberfläche sind unverzerrt (winkeltreu).

Die Projektion basiert auf einem Zylinder, der etwas kleiner ist als das Rotationsellipsoid und anschließend abgewickelt wird. Diese Art der Abbildung findet in vielen Ländern Anwendung und ist besonders geeignet für große Länder längs des Äquators.

Die Transversale Merkator-Projektion ist definiert durch:

- (Gitter-) Ost- und (Gitter-) Nordwert
- geographische Breite des Ursprungs
- Lage des Hauptmeridians
- Maßstab auf dem Hauptmeridian
- Zonenbreite (Breite des Meridianstreifens)



Die Transversale Merkatorprojektion

Der **Ost- und der Nordwert** sind so vereinbart worden, daß der Nullpunkt der Gitterprojektion der Konvention entsprechend in der unteren linken Ecke zu liegen kommt und so die Einführung negativer Koordinaten vermieden werden kann.

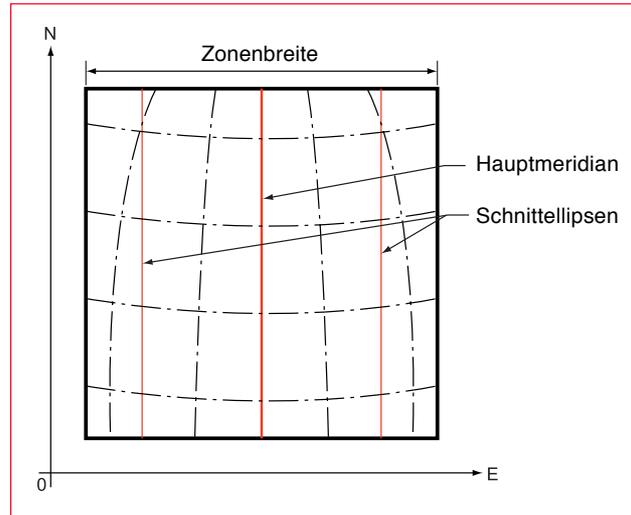
Die **geographische Breite des Ursprungs** definiert die Breite der Zylinderachse. Dies ist in der nördlichen Hemisphäre normalerweise der Äquator.

Der Hauptmeridian definiert die Richtung von Gitternord und die geographische Länge des Projektionszentrums.

Der Maßstab variiert in Ost-West-Richtung. Da der Zylinder in der Regel kleiner ist als das Rotationsellipsoid, ist **der Maßstab auf dem Hauptmeridian** kleiner Eins, gleich Eins auf den Schnittellipsen und dann größer Eins an den Projektionsrändern.

In Nord-Süd-Richtung variiert der Maßstab nicht. Aus diesem Grund ist die Transversale Merkatorprojektion äußerst geeignet für Gebiete, die sich stark in Nord-Süd-Richtung ausdehnen.

Die **Zonenbreite** definiert in Ost-West-Richtung den Abschnitt des Rotationsellipsoids, auf den sich die jeweilige Projektion bezieht.



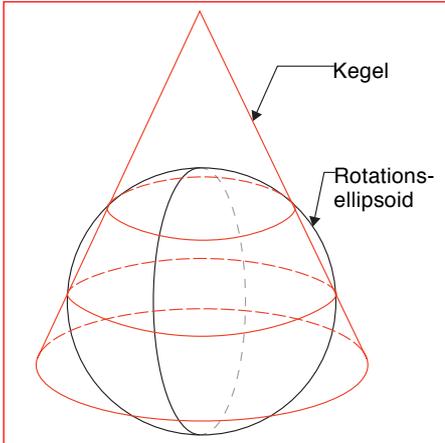
Die Merkmale der Transversalen Merkatorprojektion

Das Universale Transversale Merkator-System (UTM)

Die UTM-Projektion überdeckt die Welt zwischen 80° nördlicher und 80° südlicher Breite. Sie ist ein Typ der Transversalen Merkatorprojektion, der viele der definierenden Parameter festhält. Das UTM-System ist zusammengesetzt aus Zonen von 6° Länge mit angrenzenden Überlappungszonen von 30'. Der definierende Parameter hierbei ist der Hauptmeridian oder die Zonenkennziffer (Hauptmeridian und Zonennummer sind fest zugeordnet).

4.6.2. Die Lambert-Projektion

Die Lambert-Projektion ist ebenfalls eine konforme Abbildung. Sie basiert auf einem das Rotationsellipsoid schneidenden Kegel. Diese Art der Abbildung ist ideal für kleine, nahezu kreisförmige Länder, Inseln und die Polarregionen.



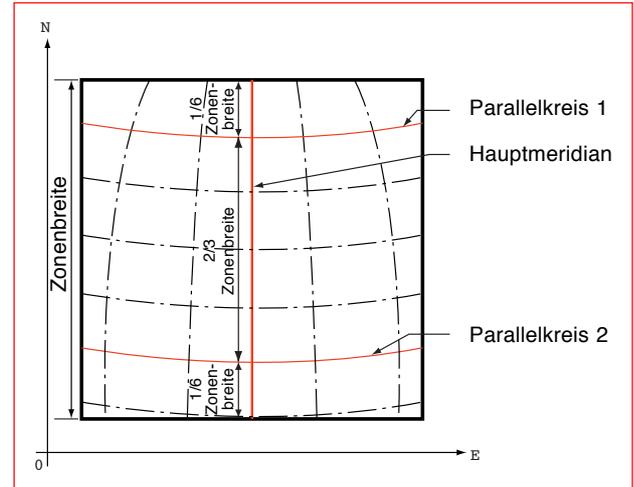
Die Lambert-Projektion wird definiert durch:

- (Gitter-) Ost- und (Gitter-) Nordwert
- die geographische Breite des Ursprungs
- den Hauptmeridian
- die Breite des 1. Parallelkreises
- die Breite des 2. Parallelkreises

Die **Ost- und Nordwerte** sind so vereinbart worden, daß der Ursprung der Gitterprojektion der Konvention entsprechend in der unteren linken Ecke zu liegen kommt und so die Einführung negativer Koordinaten vermieden werden kann.

Die **geographische Breite des Ursprungs** definiert die Breite des Projektionsursprungs.

Der **Hauptmeridian** definiert die Richtung von Gitternord und die geographische Länge des Projektionszentrums.



Die Merkmale der Lambert-Projektion

Die **Breite des 1. Parallelkreises** definiert den Breitengrad, wo der Kegel zum ersten Mal das Rotationsellipsoid schneidet. Damit ist auch festgelegt, wo der Maßstabfaktor in Nord-Süd-Richtung gleich Eins ist, nämlich auf eben diesem Breitengrad.

Die **Breite des 2. Parallelkreises** definiert den Breitenkreis, wo der Kegel das Rotationsellipsoid zum zweiten Mal schneidet. Auch hier ist der Maßstabfaktor gleich Eins.

Zwischen den beiden Standardbreitenkreisen ist der Maßstabfaktor kleiner Eins, außerhalb ist er größer Eins. Definiert wird der Maßstab durch die Breiten der beiden Standardbreitenkreise, wo er gleich Eins ist. In Ost-West-Richtung variiert der Maßstab nicht.

5. Vermessungen mit GPS

Wahrscheinlich sind für den Vermessungsingenieur oder den fachfremden Nutzer die praktischen Seiten für den effektiven Einsatz von GPS weitaus bedeutender als der theoretische Hintergrund von GPS.

Wie jedes Hilfsmittel ist GPS nur so gut wie sein Bediener. Eine gute Planung und Vorbereitung sind ebenso wesentliche Bestandteile für eine erfolgreiche Vermessung wie das Bewußtsein für die Möglichkeiten und Grenzen von GPS.

Warum der Einsatz von GPS?

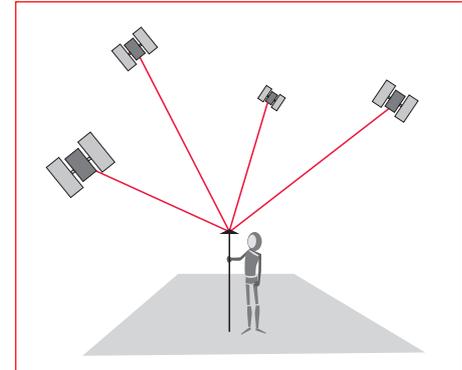
GPS hat zahlreiche Vorteile gegenüber traditionellen Vermessungsmethoden:

1. Sichtverbindung zwischen den Punkten ist nicht erforderlich.
2. Nutzbarkeit zu jeder Tages- oder Nachtzeit und bei jedem Wetter.
3. GPS liefert Resultate mit sehr hoher geodätischer Genauigkeit.
4. In kürzerer Zeit kann mit weniger Leuten deutlich mehr Arbeit erledigt werden.

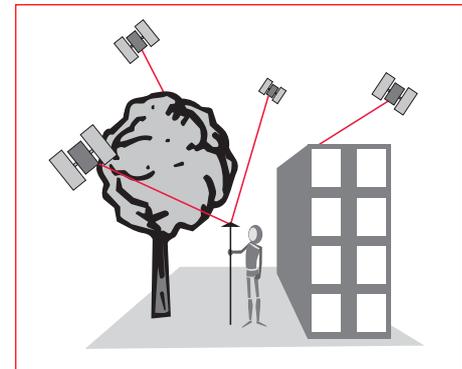
Die Grenzen

Um mit GPS arbeiten zu können, muß gewährleistet sein, daß die GPS-Antenne freie Sicht zu mindestens vier Satelliten hat. Es kann vorkommen, daß die Satellitensignale durch große Gebäude, Bäume etc. abgeschattet werden. Daher kann GPS nicht in Innenräumen verwendet werden. Ebenso ist der Einsatz von GPS in Innenstädten oder Waldgebieten schwierig.

Aufgrund dieser Einschränkungen mag es sich bei manchen Vermessungsaufgaben als kostengünstiger herausstellen, eine optische Totalstation zu verwenden oder diese mit einem GPS Empfänger zu kombinieren.



Freie Sicht zu vier Satelliten



Große Objekte können das GPS-Signal abschatten

5.1. GPS-Meßtechniken

Die meisten GPS-Empfänger für Vermessungszwecke stellen unterschiedliche Meßtechniken zur Wahl. Der Vermessungsingenieur sollte dann die geeignete Technik für die jeweilige Meßaufgabe auswählen.

Statisch – wird gebraucht für lange Basislinien, geodätische Netze, Studien zur Plattentektonik etc.; bietet hohe Genauigkeiten über große Entfernungen, ist aber relativ zeitaufwendig.

Rapid-Static – wird eingesetzt für die Einrichtung lokaler Kontrollnetze, Netzverdichtungen etc.; liefert hohe Genauigkeiten für Basislinien mit einer Länge von bis zu ungefähr 20 km und ist wesentlich schneller als die rein statische Anwendung.

Kinematisch – wird gebraucht für Stückvermessungen, topographische Aufnahmen sowie die Vermessung vieler Punkte in schneller Folge; bietet eine effiziente Möglichkeit viele Punkte aufzunehmen, die nahe beieinander liegen. Jedoch bei Abschattungen durch Brücken, Bäume, große Gebäude oder ähnliches, wenn weniger als vier Satelliten empfangen werden, muß die Ausrüstung statisch neu initialisiert werden, was 5...10 Minuten dauern kann.

Um diese Einschränkung zu minimieren, wird für die Berechnung der Anfangsmehrdeutigkeiten die On-The-Fly Lösung (Lösung unter Bewegung OTF) eingesetzt.

RTK – Real Time Kinematic (Echtzeit-Kinematisch) nutzt eine Funkdatenverbindung, um die Satellitendaten von der Referenzstation zum Rover zu übertragen. Dort erfolgt die Berechnung und Anzeige von Koordinaten in Echtzeit, d.h. während der Ausführung der Vermessung. Der Einsatzbereich ist ähnlich dem kinematischer Anwendungen (s.o.). RTK stellt eine effektive Möglichkeit für Stückvermessungen und topographische Aufnahmen dar, da die Resultate während des Arbeitsablaufes präsentiert werden. Der Einsatz dieser Technik hängt allerdings von der Güte der Funkverbindung ab, die durch Interferenzen mit anderen Radiosendern sowie Sichthindernissen beeinträchtigt sein kann.

5.1.1. Statische Vermessungen

Dies war die erste Methode, die für GPS-Vermessungen entwickelt wurde und mit Hilfe derer lange Basislinien (für gewöhnlich 20 km und mehr) gemessen werden können.

Ein Empfänger wird über einem Punkt aufgebaut, dessen Koordinaten hochgenau im WGS84 gegeben sind. Er dient damit als Referenzempfänger. Der andere Empfänger, genannt der Rover, wird am anderen Ende der Basislinie aufgebaut.

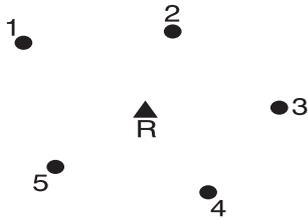
Dann werden auf beiden Stationen gleichzeitig die einlaufenden Daten aufgezeichnet. Dabei ist wichtig, daß die Daten auf jeder der beiden Stationen mit derselben Rate aufgezeichnet werden. Die Datenempfangsrate wird typischerweise auf 15, 30 oder 60 Sek. gesetzt.

Die Empfänger müssen über eine bestimmte Zeitspanne hinweg Daten sammeln. Sie hängt ab von der Länge der Linie, der Anzahl der beobachteten Satelliten und der Satellitengeometrie (dilution of precision oder DOP). Als Faustregel kann man sagen, daß die Beobachtungszeit für eine 20 km lange Linie bei Empfang von 5 Satelliten und einem vorherrschenden GDOP von 8 mindestens eine Stunde beträgt. Längere Linien erfordern längere Beobachtungszeiten.

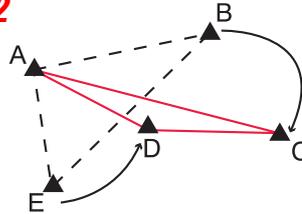
Sobald genügend Daten gesammelt sind, können die Empfänger abgeschaltet werden. Der Rover kann dann zur nächsten Basislinie bewegt werden und die nächste Messung begonnen werden.

Es ist sehr wichtig ist, für Redundanz in dem zu messenden Netz zu sorgen. Das erfordert, daß jeder Punkt mindestens zweifach beobachtet werden muß. So ergeben sich Sicherheitskontrollen gegen Probleme, die sonst unentdeckt blieben.

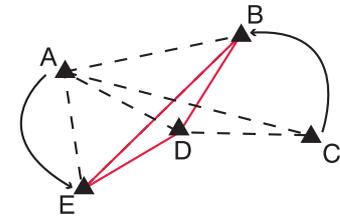
Mit einem zusätzlichen Rover-Empfänger kann die Produktivität erheblich gesteigert werden. Um das Potential von drei zur Verfügung stehenden Empfängern zu maximieren, ist eine gute Koordination zwischen den Vermessungstrupps erforderlich. Hierfür ein Beispiel auf der nächsten Seite.

1

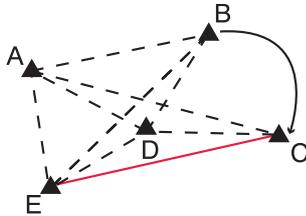
Das Netz ABCDE soll mit drei Empfängern gemessen werden. Die Koordinaten von A sind im WGS84 bekannt. Die Empfänger werden zunächst über A, B und E aufgebaut. Dann werden über die erforderliche Zeit GPS-Daten aufgezeichnet.

2

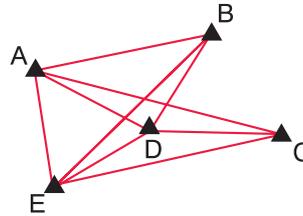
Danach wird der Empfänger, der auf E gestanden hat, nach D versetzt und der von B über C aufgebaut. Das Dreieck ACD wird gemessen.

3

Dann wird der Empfänger von A über E aufgebaut und C wird zurück nach B versetzt. Das Dreieck BDE wird gemessen.

4

Schließlich wird B wieder nach C versetzt und die Linie EC wird gemessen.

5

Als Ergebnis erhält man das gemessene Netz ABCDE. Ein Punkt ist dreimal, jeder Punkt jedoch mindestens zweimal aufgemessen worden. Damit ist die Redundanz im Netz sichergestellt. Mögliche grobe Fehler können aufgedeckt und die fehlerhafte Messung aus der weiteren Berechnung herausgenommen werden.

5.1.2. Rapid-Static Vermessungen

Bei Rapid-Static Vermessungen wird ein Referenzpunkt ausgewählt und einer oder mehrere Rover operieren mit Bezug auf diesen Punkt.

Typischerweise wird Rapid-Static für die Verdichtung bestehender Netze oder zur Einrichtung von Kontrollen etc. verwendet.

Wenn die Arbeit in einem Gebiet begonnen wird, wo zuvor keinerlei GPS-Vermessungen stattgefunden haben, sind zunächst eine Anzahl von Punkten zu beobachten, deren Koordinaten im lokalen System genau bekannt sind. Damit ist es möglich, eine Transformation zu rechnen, so daß von nun an auch Neupunkte, die mit GPS in diesem Gebiet gemessen werden, auf einfache Weise in das lokale System umgerechnet werden können.

Wie bereits in Abschnitt 4.5. besprochen worden ist, sollten mindestens 4 bekannte Punkte auf dem Umring des Meßgebietes beobachtet werden. Die berechnete Transformation hat dann für das von diesen Punkten eingeschlossene Gebiet Gültigkeit.

Der Referenz-Empfänger wird für gewöhnlich über einem bekannten Punkt aufgebaut und kann in die Berechnung der Transformationsparameter mit einbezogen werden. Falls kein bekannter Punkt verfügbar ist, kann die

Referenz auch irgendwo innerhalb des Netzes aufgebaut werden.

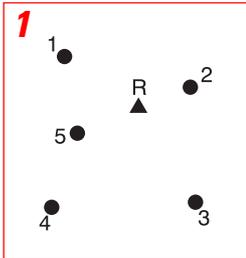
Mit den Rover-Empfängern wird dann nach und nach jeder der bekannten Punkte aufgenommen. Die Dauer der Beobachtungszeit auf jedem Punkt ist dabei abhängig von der Länge der Basislinie zwischen Referenz und Rover und dem GDOP.

Die Daten werden aufgezeichnet und im Büro im Post-Processing ausgewertet.

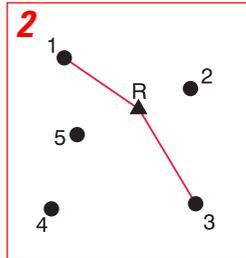
Anschließend sollten Kontrollmessungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, daß sich keine groben Fehler in die Messungen eingeschlichen haben. Dies kann so geschehen, daß die Punkte zu einer anderen Tageszeit ein zweites Mal aufgenommen werden.

Wenn mit zwei oder mehr Rover-Empfängern gearbeitet wird, besteht eine Alternative darin, sicherzustellen, daß alle Rover auf jedem der besetzten Punkte gleichzeitig operieren. Denn dann können während des Post-Processing die Daten jeder einzelnen Station entweder als Referenz- oder als Rover-Daten in die Berechnung eingebracht werden. Das ist zwar die effizienteste, aber auch die am schwierigsten zu synchronisierende Vorgehensweise.

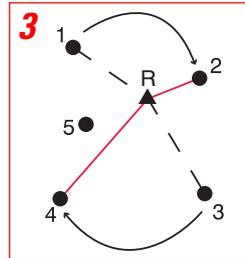
Eine andere Möglichkeit, die notwendigen Redundanzen herbeizuführen, besteht darin, zwei Referenzstationen aufzubauen und einen Rover einzusetzen, um -wie in dem unten aufgeführten Beispiel- nach und nach die einzelnen Punkte zu besetzen.



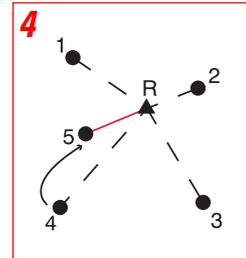
Das Netz 1,2,3,4,5 soll mit drei GPS-Empfängern von der Referenzstation R aus gemessen werden.



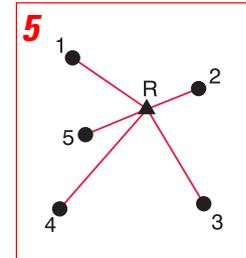
Die Referenzstation wird aufgebaut. Ein Rover besetzt Punkt 1, während der andere Punkt 3 besetzt.



Nach Verstreichen der erforderlichen Zeit, wandert ein Rover nach Punkt 2, während der andere nach Punkt 4 versetzt wird.

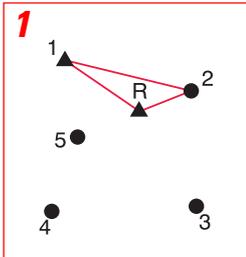


Anschließend kann einer der Rover ins Büro zurückkehren, während der andere Punkt 5 aufnimmt.

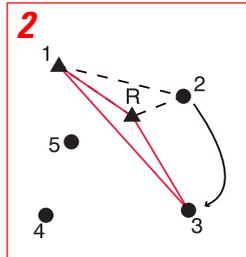


Das Ergebnis sieht wie oben dargestellt aus. An einem folgenden Tag wird zur Vermeidung von groben Fehlern die Konstellation erneut aufgemessen.

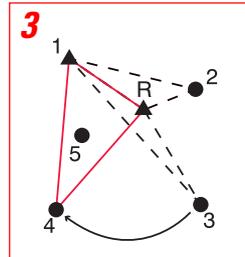
Alternative Vorgehensweise...



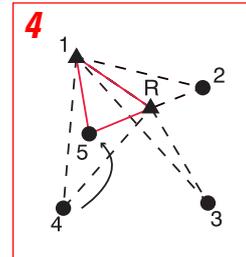
Sowohl über R als auch über Punkt 1 werden Referenzstationen aufgebaut. Der Rover besetzt Punkt 2.



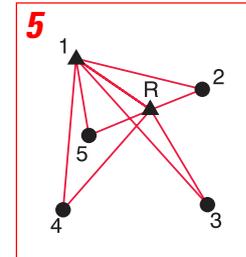
Nach Verstreichen der erforderlichen Zeit, wird der Rover nach Punkt 3 versetzt.



In ähnlicher Art und Weise bewegt sich der Rover dann nach Punkt 4...



...und dann nach Punkt 5.



Das Resultat ist ein komplett aufgemessenes Netz mit eingebauter Redundanz.

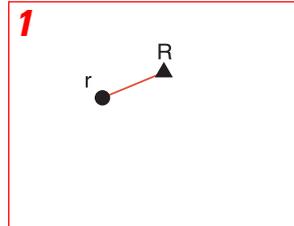
5.1.3. Kinematische Vermessungen

Die Technik der kinematischen Aufnahme ist typisch für Stückvermessungen und topographische Aufnahmen, die Aufnahme von Bahnen etc., obwohl mit dem Aufkommen von RTK die Popularität dieses Meßverfahrens stetig abnimmt.

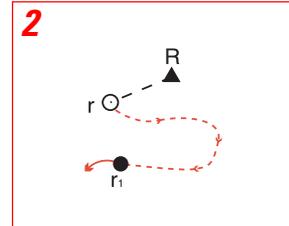
Dieses Verfahren braucht einen bewegten Rover, dessen Position in Bezug zur Referenz berechnet werden kann.

Zunächst muß für die erste Roverposition eine Initialisierung (Bestimmung der Anfangsmehrdeutigkeiten) durchgeführt werden können. Dies ist im Grunde dasselbe wie die Aufnahme eines Rapid-Static Punktes und ermöglicht es später im Büro der Post-Processing Software, die Mehrdeutigkeiten zu lösen. Referenz und Rover werden eingeschaltet und bleiben für 5...20 Min. absolut stationär, um Daten zu sammeln. (Die tatsächlich benötigte Zeit ist abhängig von der Länge der Basislinie zur Referenzstation und der Anzahl der beobachteten Satelliten).

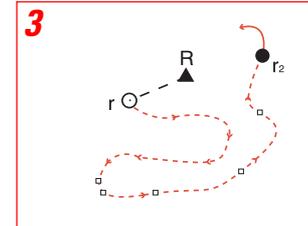
Danach darf sich der Rover frei bewegen. Der Anwender kann dann entweder Positionen mit einer vordefinierten Aufzeichnungsrate aufnehmen, Einzelpositionen aufzeichnen oder aber die Aufnahme als eine Kombination aus beidem gestalten. Dieser Teil der Messung wird im allgemeinen als kinematische Kette bezeichnet.



1 Initialisierung von der Referenz zum Rover.



2 Dann kann sich der Rover bewegen. Positionen können in einem vordefinierten Intervall aufgenommen werden...



3 ...und, falls gefordert, ebenso auf einzelnen Punkten.

Ein Hauptproblem, das bei kinematischen Vermessungen zu beachten ist, liegt darin, die Nähe zu großen Objekten zu meiden, die den Empfang des Satellitensignals am Rover-Empfänger blockieren könnten. Denn falls irgendwann weniger als 4 Satelliten vom Rover empfangen werden, ist die Messungskette unterbrochen. Der Rover muß wieder in eine Position bewegt werden, wo 4 oder mehr Satelliten empfangen werden, um das System neu zu initialisieren, bevor die Vermessung fortgesetzt werden kann.

Kinematische Vermessung ,On-the-fly'

Dies stellt eine Variation der kinematischen Meßmethode dar. Die Forderung nach statischer Initialisierung und folgender Reinitialisierung, wenn die Anzahl der beobachteten Satelliten unter vier fällt, fällt hierbei weg.

„Kinematic-on-the-fly“ ist eine Datenverarbeitungsmethode, die im Post-Processing auf die durchgeführten Messungen angewendet wird. Zu Beginn der Vermessung kann der Operateur einfach mit dem Rover-Empfänger losgehen und während dessen Daten sammeln. Läuft er unter Bäumen durch und verliert das Satellitensignal, reinitialisiert sich das System automatisch, sobald er die Abschattung wieder verläßt.

5.1.4. Vermessungen mit RTK

RTK steht für ‚Real-Time-Kinematic‘ und ist eine kinematische ‚on-the-fly‘ Vermessung, die in Echtzeit durchgeführt wird.

Die Referenzstation ist mit einer Funkverbindung versehen und sendet die Daten, die sie von den Satelliten empfängt.

Der Rover ist ebenfalls mit einer Funkverbindung ausgestattet und empfängt das von der Referenz ausgestrahlte Signal. Des weiteren empfängt der Rover Satellitendaten direkt von den Satelliten und zwar über seine eigene GPS-Antenne. Diese beiden Datensätze können im Rover-Empfänger weiterverarbeitet werden, um die Mehrdeutigkeiten zu lösen und so eine hochgenaue Position in Bezug zum Referenzempfänger zu erhalten.

Ist der Referenzempfänger einmal aufgebaut und sendet Daten über die Funkverbindung, so kann der Rover-Empfänger aktiviert werden.

Sobald er Satelliten empfängt und Daten von der Referenz erhält, kann er den Initialisierungsprozess beginnen. Dieser Vorgang ist der im Post-Processing geleisteten Initialisierung einer kinematischen ‚on-the-fly‘ Vermessung ähnlich, mit dem großen Unterschied, daß die Initialisierung bei RTK in Echtzeit durchgeführt wird.

Mit Abschluß der Initialisierung sind die Mehrdeutigkeiten gelöst und der Rover kann Punktdaten und Koordinaten aufzeichnen. Zu diesem Zeitpunkt liegen die Genauigkeiten der Basislinienbestimmung im 1...5 cm Bereich.

Es ist wichtig Kontakt mit dem Referenz-Empfänger zu halten, denn sonst kann der Rover die Lösung der Mehrdeutigkeiten verlieren, was zu einer weitaus schlechteren Positionsberechnung führen würde.

Darüber hinaus können bei Vermessungen in der Nähe von Hindernissen, wie hohen Gebäuden, Bäumen etc. Probleme auftreten, da die Satellitensignale dort möglicherweise blockiert werden.

RTK ist auf dem besten Wege, die geläufigste Methode für hochpräzise und hochgenaue GPS-Vermessungen in kleinen Gebieten zu werden. Dabei kann es für ähnliche Anwendungen eingesetzt werden, wie eine konventionelle Totalstation. Dies umfaßt Stückvermessungen genauso wie Absteckungen, COGO-Anwendungen etc.

Die Funkverbindung

Die meisten RTK GPS-Systeme machen Gebrauch von kleinen UKW-Funkmodems. Die Funkverbindung ist der Teil des RTK-Systems, wo die meisten Anwender auf Schwierigkeiten stoßen. Daher ist es für eine gute Funkleistung durchaus lohnend, folgende Einflußfaktoren im Auge zu behalten:

1. Sendeleistung der Referenz. Generell gilt, je stärker der Sender, desto besser die Nutzungsmöglichkeit. Die meisten Länder jedoch begrenzen die Sendeleistung gesetzlich auf 0,5...2 W.
2. Höhe der Sendeantenne. Die Funkverbindung kann durch fehlende gegenseitige Sicht negativ beeinflußt werden. Je höher die Antenne positioniert werden kann, desto unwahrscheinlicher ist es, daß Probleme mit der Sichtverbindung auftreten. Mit der Höhe nimmt auch die Gesamtreichweite der Funkverbindung zu. Das gleiche gilt für die Empfängerantenne.

Weitere Einflußfaktoren auf die Sendeleistung sind u.a. die Kabellänge zur Funkantenne (längere Kabel bedeuten höhere Verluste) und der Typ der verwendeten Funkantenne.

5.2. Vorbereitung der Vermessungsarbeiten

Vor Beginn der Vermessungsarbeiten im Felde muß die Vermessung gründlich vorbereitet werden. Zu beachtende Punkte hierbei sind:

1. Funklizenzen
2. Geladene Batterien
3. Ersatzkabel
4. Absprachen der Vermessungstrupps untereinander
5. Die Koordinaten der Referenzstation
6. Speicher-Karten – ist genügend Ersatzspeicher vorhanden?
7. Ein Beobachtungsplan. Erstes Ziel sollte es sein, genügend Informationen für die Bestimmung der Transformationsparameter zu erhalten. Danach sollte die Kontrolliertheit der Beobachtungen durch Redundanzen angestrebt werden.

5.3. Tips für die Vermessungsarbeiten

Bei statischen und ‚Rapid-Static‘ Vermessungen sollte für jeden beobachteten Punkt ein Feldbuch geführt werden. Ein Beispiel hierfür wird auf der nächsten Seite gegeben.

Ebenso ist es bei statischen und ‚Rapid-Static‘ Vermessungen äußerst wichtig, daß die Antennenhöhe richtig bestimmt wird. Hier treten bei der Vermessung mit GPS die häufigsten Fehler auf. Daher sollte die Höhe zu Beginn und am Ende einer Aufstellung gemessen werden. Bei kinematischen und RTK Vermessungen ist die Antenne üblicherweise auf einem Stab mit fester Höhe montiert.

Während statischer und ‚Rapid-Static‘ Vermessungen muß die GPS-Antenne vollkommen ruhig gehalten werden. Dies gilt auch für die ‚Rapid-Static‘ Initialisierung kinematischer Vermessungen (jedoch nicht für kinematische ‚on-the-fly‘ oder RTK Vermessungen). Jede Bewegung oder Vibration in der Antenne kann sich nachteilig auf das Resultat auswirken.

Feldbuch

Punktnummer	_____	Datum	_____	Bemerkungen	_____
Seriennummer des Sensors	_____	Beobachter	_____		_____
Operationsmodus	_____				
Antennentyp	_____				
Höhenablesung	_____				
Start-Zeit	_____				
Stop-Zeit	_____				
Anzahl der Epochen	_____				
Anzahl der empfangenen Satelliten	_____				
GDOP	_____				

Abplattung

Mit Bezug auf Ellipsoide:

$$f = (a - b) / a = 1 - (1 - e^2)^{1/2},$$

mit a = große Halbachse

b = kleine Halbachse

e = Exzentrizität

Almanach

Bibliothek der groben Satellitenbahndaten, wird gebraucht, um die Position, die Zeit des Erscheinens, die Elevation und das Azimut der Satelliten zu berechnen.

Anti-Spoofing (A-S)

Verschlüsselung des P-Codes, um den Y-Code zu erzeugen.

Äquipotentialfläche

Eine mathematisch definierte Oberfläche, auf der in jedem Punkt das Schwerepotential gleich ist. Ein Beispiel für eine solche Oberfläche ist das Geoid.

Azimut

Ein im Uhrzeigersinn mit Bezug auf eine Ausgangsrichtung, z.B. Norden, gemessener Horizontalwinkel.

Bandbreite

Ein Maß für die Breite des Spektrums eines Signals (Frequenzbereich eines Signals), ausgedrückt in der Einheit Hertz.

Basislinie

Die Länge des dreidimensionalen Vektors zwischen zwei Stationen, auf denen gleichzeitig GPS-Daten gesammelt und mit differentiellen Verfahren verarbeitet worden sind.

Beat frequency, Schwebung

Eine der beiden zusätzlichen Frequenzen, die erhalten werden, wenn Signale zweier nahe beieinander liegender Frequenzen vermischt werden. Die Schwebung entsteht durch Bilden der Summe bzw. der Differenz der Ausgangsfrequenzen.

Beobachtungsperiode (Session)

Ein Zeitabschnitt, in dem GPS-Daten simultan von zwei oder mehr Empfängern gesammelt werden.

Binäre Zweiphasenmodulation

Phasenwechsel von entweder 0° oder 180° (um binär 0 bzw. 1 darzustellen) auf einem konstanten Frequenzträger, welche modelliert werden können durch:

$$y = A \cos (wt + p),$$

mit einer Amplitudenfunktion A , die einer Sequenz von +1 und -1 -Werten entspricht (um jeweils 0° und 180° Phasenwechsel zu repräsentieren). GPS Signale sind zweiphasenmodulierte Signale.

C/A-Code

Der Coarse / Acquisition GPS Code, der dem GPS L1 Signal aufmoduliert ist und eine Sequenz von 1023 pseudozufälligen binären Zweiphasenmodulationen auf dem GPS-Träger darstellt, der eine Chipping-Rate von 1,023 MHz hat und daher eine Wiederholungsperiode des Codes von einer Millisekunde.

Chip (Datenpaket)

Das Zeitintervall von entweder einer 0 oder einer 1 in einem binären Puls-Code.

Chip-Rate

Anzahl der Chips pro Sekunde (z.B. hat der C/A-Code $1,023 \cdot 10^6$ cps).

Code

Ein System gebraucht zu Kommunikationszwecken, in dem willkürlich gewählten Zeichenketten von Nullen und Einsen eine bestimmte Bedeutung zugewiesen wird.

Cutoff Angle

Der minimale Elevationswinkel, unterhalb dessen der Sensor die GPS-Satelliten nicht mehr verfolgt.

Cycle Slip (Phasensprung)

Der Verlust einer ganzen Anzahl von Wellenlängen in der gemessenen Grundträgerphase, der aus dem zeitweiligen Phasenabriß eines GPS-Signals resultiert.

Delay lock (Verzögerungszeit beim Einrasten)

Die Technik, mit deren Hilfe der empfangene Code (generiert von der Satellitenuhr) mit dem internen Code (generiert von der Empfängeruhr) verglichen wird und dieser solange in der Zeit verschoben wird, bis die beiden Codes übereinander passen.

DGPS

Differentielles GPS. DGPS ist der allgemein verwendete Terminus für ein GPS-System, das differentielle Code-Korrekturen verwendet, um eine verbesserte Positioniergenauigkeit von ungefähr 0,5...5 m zu erreichen.

Differentielle Positionierung

Die Bestimmung von relativen Koordinaten zwischen zwei oder mehr Empfängern, die gleichzeitig dieselben GPS-Signale verfolgen.

Dilution of Precision (DOP)

Eine Beschreibung des rein geometrischen Beitrags zur Unsicherheit im Positions-Fixing.

Der DOP-Faktor ist ein Indikator für die geometrische Güte der Satellitenkonstellation zum Zeitpunkt der Messung. Standardbegriffe im Umfeld von GPS sind:

GDOP – dreidimensionale Koordinate (3D) plus Uhrenoffset

PDOP – dreidimensionale Koordinate (3D)

HDOP – zweidimensionale horizontale Koordinate (2D)

VDOP – nur Höhe

TDOP – nur Uhrenoffset

HTDOP – Horizontalposition und Zeit

Doppler-Effekt

Die vermeintliche Änderung in der Frequenz eines empfangenen Signals aufgrund des sich kontinuierlich ändernden Abstandes zwischen Sender und Empfänger.

Ellipsoid

In der Geodäsie -wenn nicht anders spezifiziert- eine mathematische Figur, die gebildet wird durch die Rotation einer Ellipse um ihre kleine Halbachse (daher auch Rotationsellipsoid). Zwei Größen definieren ein Ellipsoid; diese sind für gewöhnlich gegeben mit der Länge der großen Halbachse a und der Abplattung f .

Ellipsoidische Höhe

Die vertikale Distanz eines Punktes über dem Ellipsoid.

Empfänger-Kanal

Die Funkfrequenz und digitale Hardware sowie die Software in einem GPS-Empfänger, die benötigt wird, um das Signal von einem GPS-Satelliten auf einer der beiden GPS-Trägerfrequenzen zu verfolgen.

Entfernung

Begriff, der in der Navigation für die Länge der Fahrtrichtung zwischen zwei Punkten gebraucht wird. Die Fahrtrichtung ist normalerweise der Großkreis oder die Kompaßlinie (Loxodrome).

Ephemeriden

Eine Liste von Positionen oder Ortsangaben eines Himmelskörpers als eine Funktion der Zeit.

Epoche

Ein als Referenz auf einer Zeitskala festgesetzter, spezieller Zeitpunkt.

Exzentrizität

Das Verhältnis der großen Halbachse einer Ellipse zur Distanz des Ellipsenbrennpunktes von ihrem Zentrum:

$$e = (1 - b^2/a^2)^{1/2},$$

mit a = große Halbachse und

b = kleine Halbachse der Ellipse.

Fehler in den Ephemeriden

Die Abweichungen zwischen der tatsächlichen Satellitenposition und der von den Satellitenbahndaten (Ephemeriden) vorhergesagten Position.

Ganzzahliger Versatz

Siehe *Mehrdeutigkeit, Phasenmehrdeutigkeit*

GDOP

Geometrische Genauigkeitsverringerng, geometrischer DOP.

—> siehe *Dilution of Precision*.

Geglättete Daten

Rohdatenmaterial, das zwecks Aufzeichnung über ein spezifiziertes Zeitintervall (Glättungsintervall) hinweg in einer einzigen Observablen (Messung) abgelegt wird.

Geodäsie

Das Studium der Erdform und -größe.

Geodätische Koordinaten

Koordinaten, die einen Punkt mit Bezug auf ein Ellipsoid definieren. Geodätische Koordinaten sind entweder über Länge, Breite und ellipsoidische Höhe definiert oder über die Verwendung kartesischer Koordinaten.

Geodätisches Datum

Ein mathematisches Modell, das so konzipiert ist, das es bestanschließend für Teile des Geoids oder das Gesamtgeoid ist. Das geodätische Datum ist definiert durch ein Ellipsoid und das Verhältnis zwischen dem Ellipsoid und dem einen Punkt auf der topographischen Oberfläche, der als Ursprung des Datums eingerichtet worden ist. Dieses Verhältnis ist bestimmt durch 6 Parameter, generell (aber nicht notwendigerweise) durch die geodätische Breite, Länge und die Höhe des Ursprungs, die zwei Komponenten der Lotabweichung im Ursprung sowie das geodätische Azimut einer Linie vom Ursprung zu einem beliebigen anderen Punkt.

Geographische Breite

Der Winkel zwischen der Ellipsoidnormalen und der Äquatorebene. Die Breite ist auf dem Äquator gleich Null und an den Polen gleich 90°.

Geographische Länge

Die Länge ist der Winkel zwischen der Meridianellipse, die durch Greenwich verläuft, und der Meridianellipse, die den gefragten

Punkt enthält. Daher ist die Länge bei Greenwich gleich 0° und wird dann entweder ostwärts bis 360° durchgezählt oder ostwärts bis 180° und westwärts bis 180° gemessen.

Geoid

Die spezielle Äquipotentialfläche, die mit der mittleren Meereshöhe koinzidiert und die man sich als unter den Kontinenten durchgehend vorstellen kann. Diese Oberfläche steht in allen Punkten senkrecht zur Richtung der Schwerkraft.

Geoidhöhe

Siehe *Geoidundulation*.

Geoidundulation

Der Abstand zwischen der Oberfläche des Bezugsellipsoids und dem Geoid gemessen entlang der Ellipsoidnormalen.

Geozentrisch

Sich auf das Erdzentrum beziehend.

GPS

Globales Positionierungssystem.

GPS-Zeit

Ein auf der Universal Time Coordinated (UTC) vom 6. Januar 1980 basiertes kontinuierliches Zeitsystem.

Gradnetz

Ein ebenes Raster, das die Breiten- und Längengrade des Ellipsoids repräsentiert.

Gravitationskonstante

Die Proportionalitätskonstante in Newton's Gravitationsgesetz:

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{s}^{-2}\text{kg}^{-1}$$

Großkreiskurs

Begriff aus der Navigation. Die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten.

Grundfrequenz

Die im GPS gebrauchte Grundfrequenz beträgt 10,23 MHz. Die Trägerfrequenzen L1 und L2 sind ganzzahlige Vielfache dieser Grundfrequenz:

$$L1 = 154 F = 1575,42 \text{ MHz}$$

$$L2 = 120 F = 1227,60 \text{ MHz}$$

Grundphase der Trägerwelle

Die Phasenlage des Signals, die sich ergibt, wenn das einlaufende, durch den Doppler-Effekt veränderte Satelliten-Trägersignal über die nominell konstante Referenzfrequenz, die im Empfänger generiert wird, verschoben wird (so wird das Signal der Differenzfrequenz generiert).

Höhe

Höhe über dem Geoid.
Siehe *Orthometrische Höhe*.

Höhenwinkel

Vertikalwinkel mit 0° im Horizont und 90° im Zenit.

Inklination

Der Winkel zwischen der Ebene gebildet durch die Umlaufbahn eines Objektes und einer beliebigen Referenzebene (z.B. der Äquatorebene).

Ionosphärische Refraktion

Eine Welle, die sich durch die Ionosphäre (welche ein nicht-homogenes und dispersives Medium darstellt) hindurch ausbreitet, erfährt eine Verzögerung. Diese Verzögerung der Phasengeschwindigkeit (Refraktion) hängt dabei vom Elektronengehalt ab und beeinflusst die Signale der Trägerwelle. Der Gruppenbrechungsindex ist ebenfalls abhängig von der Dispersion in der Ionosphäre und beeinflusst die Signalmodulation (d.h. die Codes). Die Verzögerung der Phasen- und der Gruppengeschwindigkeit sind von derselben Größe, aber unterschiedlichem Vorzeichen.

Kartesische Koordinaten

Die Koordinaten eines Punktes im Raum, die bezogen auf den Ursprung in drei senkrecht zueinander stehenden Dimensionen (x, y, z) gegeben sind.

Kepler-Elemente

Mit ihrer Hilfe kann jede erdenkliche astronomische Umlaufbahn beschrieben werden:

a: große Halbachse

e: numerische Exzentrizität

w: Argument des Perigäums

W: Rektaszension des aufsteigenden Knotens

i: Inklination

n: wahre Anomalie

Kinematische Positionierung

Bestimmung einer zeitlichen Serie von Koordiantensätzen für einen bewegten Empfänger, wobei jeder der Koordinatensätze aus einem einzigen Datensatz gewonnen und für gewöhnlich in Echtzeit berechnet wird.

Konforme Projektion

Eine Kartenprojektion, die die ellipsoidischen Winkel nach Abbildung in die Ebene in ihrer Größe beibehält (winkeltreu).

Kontrollsegment

Am Boden stationierte Einrichtungen des GPS-Systems, die von der US-Regierung betrieben werden. Die Bodenstationen verfolgen die Satellitensignale, bestimmen die Umlaufbahnen der Satelliten und übermitteln Bahndaten an die Satelliten.

Koordinatenübertragung

Die Methode, simultan gesammelte Daten von unterschiedlichen Stationen zu nutzen, um die relative Position der einen Station bezogen auf die andere zu bestimmen. Siehe *Differentielle Positionierung*.

Kurs

Ein in der Navigation gebrauchter Terminus zur Beschreibung des Winkels zwischen einer Referenzrichtung (z.B. geographisch Nord, magnetisch Nord oder Gitternord) und der Fahrtrichtung.

L-Band

Das Funk-Frequenzband von 390 MHz bis 1550 MHz. Die von den GPS-Satelliten gesendeten Frequenzen der L1 und L2

Trägerwellen liegen innerhalb dieses L-Bandes.

Lambert-Projektion

Eine konforme konische Kartenprojektion, die ein Ellipsoid auf eine ebene Oberfläche projiziert, indem ein Kegel darüber gestülpt wird.

Lokales Ellipsoid

Ein Ellipsoid, das in dem bestimmten Bereich der Erde, für den es definiert worden ist, bestanschließend ist. Lokale Ellipsoide sind für gewöhnlich für einzelne Länder oder Gruppen von Ländern bestanpassend.

Lokale Zeit

Die lokale Zeit entspricht der Mittleren Zeit Greenwich (GMT) plus einer Zeitzone.

Lotabweichung

Der Winkel zwischen der Ellipsoidnormalen und der Vertikalen (der wahren Lotrichtung). Für gewöhnlich wird die Lotabweichung in eine Meridiankomponente und eine Komponente senkrecht zum Meridian zerlegt.

Loxodrome (Kompaßlinie)

Begriff aus der Navigation. Fahrtroute zwischen zwei Punkten mit konstantem Kurswinkel.

Mehrdeutigkeit, Phasenmehrdeutigkeit (Ambiguity)

Die am Empfänger in einer fortlaufenden Meßreihe der Trägerphasen eines Satelliten enthaltene unbekannte, ganzzahlige Anzahl der Wellen der rekonstruierten Trägerphase.

Mehrfachdifferenzbildungen bei Phasenmessungen

Bei GPS Phasenmessungen lassen sich Differenzen bilden zwischen den Empfängern, zwischen den beobachteten Satelliten und der Zeit. Obwohl viele Kombinationen möglich sind, ist die augenblickliche Konvention für die Differenzbildung bei GPS-Phasenmessungen, die Differenzen in der oben genannten Reihenfolge zu bilden: zuerst zwischen den Empfängern, dann zwischen den Satelliten und schließlich zwischen den Beobachtungszeiten.

Das Ergebnis einer einfachen Differenzbildung (zwischen Empfängern) ist die unmittelbare Differenz in der Phase des von

zwei Empfängern auf unterschiedlichen Positionen gleichzeitig gemessenen Signals ein und desselben Satelliten.

Das Ergebnis einer doppelten Differenzbildung (zwischen Empfängern sowie Satelliten) wird erhalten, indem die einfache Differenz für einen Satelliten von der entsprechenden einfachen Differenz eines ausgewählten Referenzsatelliten abgezogen wird.

Das Ergebnis einer dreifachen Differenzbildung (zwischen Empfängern, Satelliten und zusätzlich der Zeit) wird erhalten als die Differenz zwischen der doppelten Differenz zu einer Epoche und derselben doppelten Differenz zu einer anderen Epoche.

Mehrwegeeffekt

Ein Positionierungsfehler, der aus einer Interferenz zwischen Funkwellen resultiert, die zwischen Sender und Empfänger Wege unterschiedlicher elektrischer Länge zurückgelegt haben.

Meridian

Eine imaginäre Linie, die den Nordpol mit dem Südpol verbindet und den Äquator bei 90° schneidet.

Meßort

Ein Platz, an dem ein Empfänger aufgestellt worden ist, um Koordinaten zu bestimmen.

Methode der kleinsten Quadrate

Prozeß des Schätzens unbekannter Parameter, indem die Summe der Quadrate der Messungsresiduen zum Minimum gemacht wird.

Mittlere Zeit Greenwich (GMT)

Die mittlere Sonnenzeit des durch Greenwich verlaufenden Meridians. Wird weltweit als die bevorzugte Basis für die Standardzeit benutzt.

Navigations-Message

Eine im GPS-Signal enthaltene Botschaft, die die Bahndaten des Satelliten übermittelt sowie Uhrenkorrekturen und seinen momentanen technischen Zustand. Enthalten sind ferner grobe Informationen bezüglich des Status anderer Satelliten in der Konstellation.

NAVSTAR

Acronym für Navigation System with Time and Ranging, die ursprüngliche Bezeichnung für GPS.

NMEA

National Marine Electronics Association, die einen Standard definiert hat (den NMEA 0183), der es elektronischen Marineinstrumenten sowie Kommunikations- und Navigationsausrüstungen ermöglicht, miteinander zu kommunizieren. Dieser Standard wird in vielen Anwendungen gebraucht, um Zeit- und Positionsdaten aus GPS-Instrumenten auszulesen.

Nutzer-Segment

Der Teil des GPS-Systems, der die Empfänger des GPS-Signals umfaßt.

Orthometrische Höhe

Die Höhe eines Punktes über dem Geoid, gemessen entlang der Lotlinie durch diesen Punkt (Höhe über mittlerer Meereshöhe). Siehe auch *Höhe*.

P-Code

Der präzise GPS-Code - eine sehr lange Sequenz (von ungefähr 10^{14} bit) von pseudo-zufälligen binären Zweiphasenmodulationen auf der GPS Trägerwelle mit einer Chipping-Rate von 10,23 MHz, die sich innerhalb von ungefähr 267 Tagen nicht einmal wiederholt. Jedes einwöchige Segment des P-Codes ist einmalig für einen GPS-Satelliten und wird jede Woche neu gesetzt. Der Zugang zum P-Code ist von der US-Regierung ausschließlich auf autorisierte Anwender beschränkt.

PDOP

Positions-DOP. Siehe *Dilution of Precision*.

Phasenmessung

Siehe *Rekonstruierte Trägerphase*.

Post-Processing

Der Prozeß der Berechnung von Positionen in Nicht-Echtzeit unter Verwendung des zuvor von GPS-Empfängern gesammelten Datenmaterials.

Präziser Positionierungsdienst (PPS)

Der höchste Grad an Positioniergenauigkeit, der von GPS bereitgestellt wird und auf dem Zweifrequenz P-Code basiert.

Pseudolite

Eine GPS-Bodenstation, die ein Signal mit einer Struktur aussendet, die der eines tatsächlichen GPS-Satelliten ähnlich ist.

Pseudostrecke

Die Messung der vermeintlichen Signal-Laufzeit vom Satelliten zur Empfänger-Antenne, umgerechnet in eine Entfernung anhand der Lichtgeschwindigkeit. Die vermeintliche Laufzeit entspricht dem Unterschied zwischen der Zeit des Signalempfangs (gemessen im Zeitrahmen des Empfängers) und der Zeit der Aussendung (gemessen im Zeitrahmen des Satelliten). Die Pseudostrecke unterscheidet sich von der tatsächlichen Entfernung aufgrund des Einflusses der Satelliten- und Nutzeruhren (Uhrenfehler).

Pseudozufälliger Code (PRN-Code)

Jede Gruppe von binären Sequenzen, die wie ein Rauschen zufällig verteilt zu sein scheinen, das aber einer vorgegebenen Verteilung folgt. Die wichtigste Eigenschaft von PRN-Codes ist, daß die Sequenz einen minimalen Autokorrelationswert hat, aufgenommen bei Nullverzögerung.

Punkt-Positionierung

Die unabhängige Reduktion von Beobachtungen eines einzelnen Empfängers unter Verwendung der Information über die Pseudostrecke, die von den Satelliten abgestrahlt wird.

Quadrierter Eingangskanal

Ein GPS-Empfängerkanal, der das empfangene Signal vervielfacht, um eine zweite Oberschwingung der Trägerwelle zu erhalten, welche keinen Code mehr enthält.

Quadrierter Signalempfangsmodus

Eine Methode, die eingesetzt wird, um das GPS L2 Signal zu rekonstruieren, dabei wird die Trägerfrequenz verdoppelt und der P-Code nicht gebraucht.

Rapid-Static Vermessung

Ausdruck, der gebraucht wird in Verbindung mit dem GPS-System für statische Vermessungen mit kurzen Beobachtungszeiten. Dieser Vermessungstyp ist möglich geworden durch den Ansatz zur schnellen Lösung der Mehrdeutigkeiten, der Teil der SKI-Software ist.

Raum-Segment

Der Teil des gesamten GPS-Systems, der sich im Raum befindet, d.h. die Satelliten.

Rekonstruierte Trägerphase

Die Differenz zwischen der Phase der einlaufenden, vom Doppler-Effekt beeinflussten, GPS-Trägerwelle und der Phase einer im Empfänger generierten, nominell konstanten Referenzfrequenz.

Relative Positionierung

Siehe *Differentielle Positionierung*.

RINEX

Receiver Independent EXchange Format. Ein Satz an Standarddefinitionen und -formaten, um den freien Austausch von GPS-Daten zu fördern.

Rohdatenmaterial

Originäre GPS-Daten, wie sie vom Empfänger entgegengenommen und aufgezeichnet werden.

RTCM

Radio Technical Commission for Maritime services. Kommission, die eingesetzt ist, eine differentielle Datenverbindung zu definieren, um GPS-Botschaften von einer Monitorstation zum Nutzer im Felde zu übertragen.

RTK

Real Time Kinematic. Ein Begriff, der gebraucht wird, um den Prozeß der Lösung der Phasenmehrdeutigkeiten im Empfänger in Echtzeit zu beschreiben. Es besteht keine Notwendigkeit eines Post-Processings.

Satellitenkonstellation

Der Status der Satellitenkonstellation zu einem bestimmten Zeitpunkt, in Relation zu einem bestimmten Nutzer oder einer Nutzergruppe.

Selective Availability (SA)

Herabsetzung der Positionierungsgenauigkeit für zivile Nutzer durch das US-Verteidigungsministerium. SA wird erzeugt entweder durch Beeinflussung der Uhren oder der Bahndaten.

Sonntag

Die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden oberen Durchgängen der Sonne.

Standard-Positionierungsdienst (SPS)

Die auf dem Einfrequenz-C/A-Code beruhende Positioniergenauigkeit, die von GPS zur Verfügung gestellt wird.

Statische Vermessung

Der Begriff statische Vermessung wird in Verbindung mit GPS für alle nicht kinematischen Vermessungsanwendungen gebraucht. Dies beinhaltet die folgenden Operationsmodi:

- Statische Vermessung
- Rapid-Static Vermessung

Sternentag

Die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden oberen Durchgängen des Frühlingspunktes.

Stop & Go-Vermessung

Der Begriff Stop & Go-Vermessung wird in Verbindung mit GPS für eine spezielle Art der kinematischen Vermessung gebraucht. Nach der Initialisierung (Bestimmung der Mehrdeutigkeiten) an der ersten Meßstelle muß der Rover-Empfänger zwischen den anderen Meßstellen ohne Abriß des Satellitensignals bewegt werden. An diesen Punkten sind dann nur wenige Epochen notwendig, um eine Position mit Vermessungsgenauigkeit zu erhalten. Kommt es jedoch zu einem Phasenabriß, muß eine neue Initialisierung vorgenommen werden.

Topographie

Die Landausprägung in einer speziellen Region.

Transformation

Der Prozeß der Koordinatenumformung von einem System in ein anderes.

Transit

Der Vorgänger von GPS. Ein Satelliten-Navigationssystem, das von 1967 bis 1996 in Betrieb war.

Transversale Merkator-Projektion

Eine konforme, zylindrische Kartenprojektion, die visualisiert werden kann als ein um die Erde gewickelter Zylinder.

Trägerfrequenz

Die Frequenz des nicht-modulierten, vom Funksender ausgestrahlten Grundsignals. Die GPS L1 Trägerfrequenz hat 1575,42 MHz, die GPS L2 Trägerfrequenz hat 1227,60 MHz.

Trägerwelle

Eine Funkwelle mit zumindest einer Charakteristik (wie z.B. die Frequenz, Amplitude oder Phase), die ausgehend von einem bekannten Referenzwert mittels Modulation variiert werden kann.

Uhren-Offset

Konstante Differenz in der Zeitzählung zweier Uhren.

Universale Zeit

Lokale mittlere Sonnenzeit auf dem Greenwich-Meridian:

UT – Abkürzung für ‚universal time‘

UT0 – direkt von der Beobachtung der Sterne abgeleitete UT

UT1 – UT0 korrigiert um die Polbewegung

UT2 – UT1 korrigiert um jahreszeitliche Variationen in der Erdumdrehungsrate

UTC – Universal Time Coordinated; einheitliches Atomzeitsystem, das durch Offsets sehr nahe an UT2 gehalten wird

User equivalent range error (UERE)

Der aus einer individuellen Fehlerquelle kommende Beitrag zum Streckenmeßfehler, der in Streckeneinheiten umgerechnet wird. Dabei gilt die Annahme, daß die Fehlerquelle unkorreliert ist mit all den anderen Fehlerquellen.

UTM

Universale Transversale Merkator-Projektion. Eine Form der Transversalen Merkator-Projektion. Die Abbildung hat verschiedene Zonen, jede 6° breit mit einem zentralen Maßstabsfaktor von 0,9996. Welche Zone gebraucht wird, hängt ab von der jeweiligen Position auf der Erde.

Verzögerung der Ausbreitung

Siehe *Verzögerung der Ausbreitung in der Atmosphäre* und *Ionosphärische Refraktion*.

Verzögerung der Ausbreitung in der Atmosphäre

Die Satellitensignale betreffende Zeitverzögerung aufgrund der troposphärischen Schichten der Erdatmosphäre.

WGS84

World Geodetic System 1984. Das System, auf dem alle GPS-Messungen und -Resultate basieren.

Y-Code

Eine verschlüsselte Version des P-Codes, der von einem GPS-Satelliten gesendet wird, wenn dieser sich im anti-spoofing Modus befindet.

Zeitzone

Zeitzone = lokale Zeit - Mittlere Zeit Greenwich (GMT). Man beachte, daß GMT nahezu identisch ist mit der GPS-Zeit.

GPS Theory and Practice -

B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins.
ISBN 3-211-82839-7 Springer Verlag.

GPS Satellite Surveying -

Alfred Leick.
ISBN 0471306266 John Wiley and Sons.

Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications -

Gunter Seeber.
ISBN 3110127539 Walter De Gruyter.

Understanding GPS: Principles and Applications

Elliot D. Kaplan (Ed.).
ISBN 0890067937 Artech House.

The Global Positioning System: Theory and Applications

Bradford W. Parkinson and James J. Spilker (Eds.).
ISBN 9997863348 American Institute of Aeronautics and Astronautics.

**Gemäss SQS-Zertifikat verfügt
Leica Geosystems AG Heerbrugg,
über ein Qualitäts-System, das
den internationalen Standards für Quali-
täts-Management und Qualitäts-Syste-
me (ISO 9001) und Umweltmanagement-
Systeme (ISO 14001) entspricht.**



**Total Quality Management –
unser Engagement für totale
Kundenzufriedenheit.**

*Mehr Informationen über die Leica
GPS-Systeme erhalten Sie bei Ihrem
lokalen Leica Geosystems Vertreter.*

713284-1.0.0de

Printed in Switzerland - Copyright Leica
Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2000

The Leica logo is written in a red, cursive script font with a thin underline.

Leica Geosystems AG
CH-9435 Heerbrugg
(Switzerland)
Telefon +41 71 727 31 31
Fax +41 71 727 47 02
www.leica-geosystems.com