

GPS (Global Positioning System)

Transit ist der Vorläufer von GPS. Ursprünglich ein rein militärisches Verfahren, wurde es 1967 für die zivile Nutzung freigegeben. Der Anwender nutzt einen von fünf bis sieben Satelliten.

GPS für den zivilen Bereich hat keinen Zugriff auf maximale Genauigkeit, sondern nur *Selective Availability* (SA, eingeschränkte Verfügbarkeit).

Eine andere Bezeichnung ist:

NAVSTAR (Navigation System with Time and Ranging)

27. Juni 1977 Start des ersten Testsatellits für GPS

28. Juli 1995 endgültige Betriebsbereitschaft des Systems.

24 Block-II/IIA-Satelliten -21 plus drei aktive Reservesatelliten - kreisen auf insgesamt 6 Satellitenbahnen (4 Satelliten je Bahn). Die Bahnen sind 55° gegen den Äquator geneigt und in der Äquatorebene 60° gegeneinander versetzt. 20200 km stehen die Satelliten über der Erdoberfläche. Sie benötigen 12 Stunden für einen Umlauf.

Die Master Control Station befindet sich in Colorado Springs.

Als Subsatellitenpunkt wird der Bildpunkt des Satelliten auf der Erdoberfläche bezeichnet. Für Beobachter die in diesem Bildpunkt stehen, steht der Satellit im Zenit.

Durch die Entfernung des Satelliten vom Erdmittelpunkt und durch den Erdradius definiert, errechnet sich der Radius der Fläche der Sichtbarkeit eines Satelliten mit rund 4568 sm.

Innerhalb dieses Gebietes ist ein Satellit also funktechnisch sichtbar. Da eine gute Beobachtung aber nur erfolgen kann, wenn der Satellit mindestens 10° bis 15° hoch steht, ist das reale Beobachtungsgebiet entsprechend kleiner.

Die Satelliten senden auf zwei Frequenzen:

$$f_1 = 1575,42 \text{ MHz}$$

$$f_2 = 1227,60 \text{ MHz}$$

Diese beiden Trägerfrequenzen werden mit einer Folge von positiven und negativen Impulsen, aufmoduliert. Diese Signale sind der *PRN-Code* (Pseudo Random Noise Code) des jeweiligen Satelliten. Die Frequenz f_1 trägt den *C/A-Code* und den *P-Code*, die Frequenz f_2 trägt nur den *P-Code*. Dabei bedeutet *C/A* *Clear Acquisition* oder *Coarse Acquisition* (etwa: freier Zugang oder Groberfassung). Der *P-Code* heißt *Protected* oder *Precise Code* (geschützter oder Präzisionscode). Der zivile Nutzer hat nur Zugang zum weniger genauen *C/A-Code*, somit zum *SPS*, (Standard Positioning Service), aber nicht zum *PPS* (Precise Positioning Service).

Seit das amerikanische Satellitennavigationssystem „NAVigation System with Time And Ranging /-Global Positioning System“ (NAVSTAR/-GPS) vom Typ AN/WRN-6(V) auch auf seegehenden Einheiten der Bundesmarine installiert wurde, hat der Navigator eine weitere Möglichkeit zur Verfügung, nicht nur die geographischen Koordinaten eines Schiffsortes zu bestimmen, sondern auch u. a. die Wegpunktnavigation anzuwenden.

Die Festlegung von Wegpunkten zur Koordinierung u. a. des Bahnprozesses und dessen Kontrolle in Anwendung von GPS macht es auch möglich, herkömmliche Navigationsmethoden

mit den modernen Navigationsverfahren zu kombinieren. Eine solche Kombination stellt die Möglichkeit einer astronomischen Kompaßkontrolle dar, die im folgenden vorgestellt werden soll.

1. Situation

Zur Zeit wird auf Schiffen und Booten die astronomische Kompaßkontrolle mit Hilfe der Auflösung des Nautischen Grunddreiecks bewältigt. Dieses Verfahren ändert sich auch bei Anwendung von GPS zur astronomischen Kompaßkontrolle nicht.

Zur Auflösung des Nautischen Grunddreiecks wird bisher genutzt:

- die ABC-Tafel;
- die amerikanischen Höhentafeln HAT-H.O.249;
- die Anwendung eines Navigationsrechners mit installiertem astro-nautischen Programm.

Nach Feststellung der Kreisel-, oder Magnetkompaßpeilung zu einer Zeit (t) müssen (außer bei Anwendung des programmierten Nav-rechners) die Elemente Stundenwinkel (t), aus dem Greenwicher Stundenwinkel (Grt) und aus der geographischen Länge (λ), die geographische Breite (φ) und die Deklination eines Gestirns (δ) aus dem Nautischen Jahrbuch (NJ) bestimmt werden. Mit diesen Argumenten wird in der Regel das Nautische Grunddreieck nach der astronomisch-mathematischen Beziehung

$$\tan Az = \frac{1}{\frac{\tan \delta \cos \varphi}{\sin t} - \frac{\sin \varphi}{\tan t}}$$

mit Hilfe der oben genannten Tafeln aufgelöst, um das rechtweisende Azimut (rwAz) zu erhalten. Für geübte Beobachter bedeutet diese Form der Berechnung einen Zeitaufwand von ca. 15^{min}.

2. Das theoretische Verfahren der astronomischen Kompaßkontrolle mit GPS

Umgeben man die Erdkugel mit einer scheinbaren Himmelskugel, die gleich der Größe der Erdkugel ist und projiziert man alle dahinter stehenden Gestirne auf diese scheinbare Himmelskugel, so kann man die scheinbaren Örter der Gestirne in die geographischen Koordinaten der geographischen Länge (λ) und der geographischen Breite (φ) fassen. Die Gestirne bekommen somit einen Bildpunkt auf der Erdoberfläche. Die Nautische Ephemeriden entsprechend dem NJ geben die Gestirnsörter für jeden Zeitpunkt eines Tages und Jahres an. Rechnet man nun diese Nautischen Ephemeriden in geographische Koordinaten um, so ist der Deklinationswert (δ) gleich der geographischen Breite des Gestirns. Der Greenwicher Stundenwinkel (Grt) eines Gestirns ist gleich der geographischen Länge. Bei der Umrechnung des Grt in λ muß jedoch beachtet werden, daß sich der Grt vollkreisig im Uhrzeigersinn zählt, während sich die λ in halbkreisiger Zählweise zählt.

Merke:

*Ist der Greenwicher Stundenwinkel kleiner 180° , so entspricht der Greenwicher Stundenwinkel des Gestirns der westlichen geographischen Länge.
Ist der Greenwicher Stundenwinkel größer als 180° , so entspricht das Ergebnis der Rechnung ($360^\circ - \text{Grt}$) der östlichen geographischen Länge.*

Die Deklination eines Gestirns entspricht der geographischen Breite.

Somit drücken sich die Gestirnskoordinaten δ und Grt* in φ und λ aus, wenn obige Regel beachtet wird.

Werden nun die aus dem NJ gewonnenen Gestirnskoordinaten als umgerechnete geographische Koordinaten zum Beobachtungszeitpunkt (t) als Wegpunkt in das GPS-Bediengerät eingegeben, liefert GPS das rechtweisende Azimut und die sphärische Distanz in orthodromer Berechnung. Der Vergleich zwischen der Richtungsanzeige im GPS zum Gestirn und gepeilten Richtung am Kompaß ist die Ausführung der astronomische Kompaßkontrolle. Der Zeitaufwand von der Durchführung der Beobachtung bis zur Erlangung des Ergebnisses beträgt ca. 3^{min} bis 5^{min}.

3. Durchrechnung (Beispiele)

Position:	$\varphi = 54^{\circ} 18' 38''$ N	$\varphi = 48^{\circ} 23' 34''$ N	$\varphi = 42^{\circ} 12' 12''$ N	$\varphi = 6^{\circ} 12' 32''$ N
	$\lambda = 010^{\circ} 33' 56''$ E	$\lambda = 130^{\circ} 47' 18''$ E	$\lambda = 044^{\circ} 37' 17''$ W	$\lambda = 027^{\circ} 10' 56''$ W
16. 04. 1995	Sonne	Arcturus (Nr.: 53)	Nordstern (Nr.: 9)	Mond
UT-1	13-25-36	23-06-08	20-45-45	19-06-17
Grt	$021^{\circ} 23' 00''$	$191^{\circ} 09' 12''$ (Υ)	$191^{\circ} 09' 12''$ (Υ)	$269^{\circ} 08' 54''$
β	-----	$146^{\circ} 07' 54''$	$323^{\circ} 06' 12''$	-----
t für $\lambda = 0^{\circ}$	$021^{\circ} 23' 00''$	$337^{\circ} 17' 06''$	$154^{\circ} 15' 24''$	$269^{\circ} 08' 54''$
δ	$10^{\circ} 04' 35''$ N	$19^{\circ} 12' 18''$ N	$89^{\circ} 14' 36''$ N	$15^{\circ} 18' 54''$ S
geographische Sternposition	$\varphi = 10^{\circ} 04' 35''$ N	$\varphi = 19^{\circ} 12' 18''$ N	$\varphi = 89^{\circ} 14' 36''$ N	$\varphi = 15^{\circ} 18' 54''$ S
	$\lambda = 021^{\circ} 23' 00''$ W	$\lambda = 022^{\circ} 42' 54''$ E	$\lambda = 154^{\circ} 15' 24''$ W	$\lambda = 090^{\circ} 51' 06''$ E
$\Delta\lambda = t$	$031^{\circ} 56' 56''$ W	$108^{\circ} 04' 24''$ W	$109^{\circ} 38' 07''$ W	$118^{\circ} 02' 02''$ E
h_r	$39^{\circ} 00' 44''$	$2^{\circ} 56' 51''$	$41^{\circ} 56' 42''$	$-28^{\circ} 38' 02''$ U ^{T1)}
d (in sm)	3059,267	5223,150	2881,908	7102,811
Az	N $137^{\circ} 53' 35''$ W	N $064^{\circ} 01' 10''$ W	N $0^{\circ} 57' 29''$ W	N $075^{\circ} 55' 06''$ E
rw Az	$222^{\circ} 06' 25''$	$295^{\circ} 58' 50''$	$359^{\circ} 02' 31''$	$075^{\circ} 55' 06''$
GPS Anzeige	$222,107^{\circ}$	$295,981^{\circ}$	$395,042^{\circ}$	$075,918^{\circ}$

*1) Die Durchführung der Kompaßkontrolle nach dem Mond ist hier praktisch nicht möglich, da der Mond eine negative Höhe aufzeigt. Dieses Beispiel soll jedoch zur Darstellung des theoretischen Zusammenhangs der Großkreisnavigation mit der astronomischen Navigation dienen.

Für den Beobachtungszeitpunkt (in UT-1) ist aus dem NJ der Greenwicher Stundenwinkel (Grt) und die Deklination (δ) des Gestirns herauszunehmen, bei Fixsternen ist der Sternwinkel (β) zu dem Stundenwinkel des Frühlingspunktes (Grt Υ) zu addieren. Diese Gestirnskoordinaten sind dann in geographische Gestirnsbildpunktkoordinaten umzurechnen und als Wegpunkt in das GPS-Gerät einzugeben. GPS zeigt dann das rechtweisende Azimut in Grad und die sphärische Distanz in Seemeilen zum Gestirnsort an.

Für die Durchrechnung nach den herkömmlichen Verfahren muß das Argument des Ortstundenwinkels (t) bestimmt werden. Der OSW errechnet sich $Grt + \lambda_E = OSW(t)$ bzw. $Grt - \lambda_W = OSW(t)$. Andererseits kann der Stundenwinkel (t) auch gleichermaßen aus der Längendifferenz zwischen Schiffsort und Gestirnsort errechnet werden ($\Delta\lambda_{A-B} = t$).

Diese Methode der astronomischen Kompaßkontrolle stellt ein gleichwertiges Verfahren zur Anwendung eines auf astronomische Navigation programmierten Rechners dar.

Vorteile:

- der geographische Schiffsort wird durch GPS errechnet und laufend angezeigt, er muß nicht noch in den Navigationsrechner eingeben werden;:
- die in geographische Koordinaten umgerechneten Gestirnsbildpunkte werden sehr einfach als Wegpunkte in das GPS-Anzeigegerät eingeben, die Anzeige des Azimuts erfolgt sofort;
- GPS liefert demzufolge sofort die rechtweisende orthodrome Peilung zum Gestirn;
- GPS liefert die sphärische Distanz zum Gestirnsort;
- Nichtanwender der astronomischen Navigation können leicht nach Einweisung im Gebrauch des NJ die astronomische Kompaßkontrolle ausführen, die Bedienung des GPS sei vorausgesetzt.

Nachteile:

- die Gestirnskoordinaten müssen zeitgenau dem Nautischen Jahrbuch entnommen werden und der Grt muß halbkreisig (in Länge) umgerechnet werden, was nachschlagen und umrechnen (bei Grt-Werten über 180°) bedeutet.
- die Beobachtung des Gestirns muß fast zeitgleich mit der Aktivierung des eingegebenen Wegpunktes (geographische Gestirnskoordinate) erfolgen, da GPS nicht von der GPS-Position der Azimutbeobachtung, sondern von der GPS-Position der Wegpunkteingabe ausgeht. Dieser Nachteil ist in Bezug auf das Azimut jedoch unerheblich, da z.B. das Sonnenazimut am Erdpol erst in einer Stunde l um 15° auswandert, das ist eine Änderung von $15'$ ($0,25^\circ$) in einer Zeitminute. Hier bringt die Befähigung zur Schnelligkeit die Genauigkeit der Kompaßkontrolle.

–

Besonderheit:

- GPS kann scheinbar nicht einwandfrei genaue sphärische Werte zu einem weit entfernten Gestirnsort liefern, GPS zeigt in der Regel 30 bis 50 sm zu geringere Distanzen an, als man orthodrom mit den mathematisch sphärischen Formeln errechnet. GPS liefert aber ungeachtet dieser Feststellung „ausreichend“ genaue Werte für die astronomische Kompaßkontrolle. Nur die angezeigten sphärischen Distanzwerte müssen weitergehend entsprechend der astronomischen Navigationsgenauigkeit einer genaueren mathematischen Untersuchung unterzogen werden.
- Der Autor dieses Beitrages vermutet den Unterschied in den sphärischen Distanzen in der Anwendung verschiedenen Referenzsysteme. Während GPS von dem WGS 84, das ist das modifizierte Referenzellipsoid nach **CLARKE 1860** (die Erde als Ellipsoid) , ausgeht, gehen alle mathematisch-sphärischen Berechnungen von der idealen Kugelgestalt der Erde aus. Hier mag ein Unterschied in der Anzeige der sphärischen Distanz am GPS liegen.
- Ein zweiter Unterschied mag entstehen, wenn GPS das Maß der Toleranzen gebraucht. Auf 5000 sm Distanz sind 50 sm gerade 1% Abweichung in der Distanz der Wegpunktberechnung. Dieses eine Prozent korrigiert GPS jedoch laufend, je näher der Schiffsort dem Wegpunkt kommt. Das könnte eine weitere Fehlerquelle in Bezug auf den Unterschied der sphärischen Distanzen sein. Somit erfüllt GPS die Anforderungen einer astronomischen Kompaßkontrolle aufgrund nur geringer Abweichungen zwischen berechneter orthodromer Richtung und GPS-Anzeige (GPS ist hier erst nach der zweiten bzw. dritten Stelle hinter dem Komma ungenau). Zur Kontrolle von richtig ausgeführten astronomischen Höhenstandlinien kann GSP, ohne weiterer mathematischer Aufbereitung bislang nicht dienen. Angemerkt muß festgestellt werden, daß GPS nie dem Ziel einer astronomischen Kontrolle oder umgekehrt unterworfen wurde, somit bestehen auch kleine Berichtigungstafeln zwischen einer ellipsoiden Richtung und Distanz und einer ideellen kugelförmigen Richtung und Distanz.

- Der Autor dieses Beitrages merkt an, daß die Kontrolle von astronomischen Höhenstandlinien mittels GPS nur erfolgreich sein kann, wenn dem Autor weitere entsprechende Beobachtungsergebnisse durch astronomische Höhenmessungen mit dem Sextant oder Azimutmessungen mit dem Peildioptr im Vergleich der Wegpunktanzeige der Gestirnspositionen auf GPS durch das Navigationspersonals der Flotte vorliegen.
- Für weitere Berechnungen in Bezug auf die Auswertung von sphärischen Distanzen mittels GPS im Vergleich mit berechneten orthodrom-astromischen Distanzen braucht somit der Autor (für die nachfolgende Navigationsausbildung an der MOS Bremerhaven) dankbare experimentelle Unterstützung. Diese kann nur das Navigationspersonal der Flotte -hier als nachfolgender Anwender- liefern.
- GPS kann die orhodrome Peilung zu einem Funkfeuer liefern, wenn die geographische Position des Funkfeuers als Wegpunkt in GPS eingeben wird. Die Kontrolle der Funkfehlweisung unter Beachtung des Fehlerwertes „u“ ist damit gegeben. Das Funkfeuer muß sich somit nicht mehr, wie bislang im Funkdeviationstagebuch zur Kontrolle der Funkdeviation gefordert, in optischer Sicht befinden. Die Kontrolle des Funkstrahls über weite Entfernungen ist somit möglich.