

# ASTRONAVIGATION FÜR JEDERMANN

*Die eigene Position mithilfe eines SEXTANTEN zu ermitteln war lange außer Mode. Jüngst aber erfährt genau das ein Revival. Simpel ist die BERECHNUNG nicht – aber doch einfacher, als von vielen befürchtet*

**D**er eine liebt alte Autos, der nächste sammelt mechanische Armbanduhren oder kauft statt Musik-CDs lieber Langspielplatten aus Vinyl. Und mancher Segler fühlt sich an Bord einer betagten GFK-Yacht oder sogar eines echten Holzklassikers wohler als auf einem modernen Boot. Keine Frage also, ein gewisser Hang zur Nostalgie ist zahlreichen Menschen zu eigen.

Da wundert es nicht, dass sich neuerdings wieder mehr und mehr Segler mit Astronavigation beschäftigen. Auf der ein oder anderen Yacht schlummert ja sogar nicht selten seit Jahren tief im Schapp unterm Kartentisch ein Sextant in seinem Holzkasten, der nun plötzlich wieder hervorgeholt wird. Und wo das nicht der Fall ist, steigt die Bereitschaft spürbar, solch einen nicht ganz günstigen Winkelmesser anzuschaffen. Mehrere tausend neue Sextanten werden wieder jährlich an Segler verkauft.

Die meisten von ihnen mögen tatsächlich überwiegend nostalgische Beweggründe haben, sich mit einer im GPS-Zeitalter auf den ersten Blick antiquiert wirkenden Navigationsmethode auseinanderzusetzen. Den ein oder anderen treibt aber vielleicht auch die Sorge um, dass elektronische Systeme anfällig sein und in der Folge ausfallen könnten. Und sei es, weil ein Blitz mit einem Schlag sämtliche elektronische Geräte an Bord außer Gefecht setzt.

Sogar die US-Marine hat 2015 nach einer zehnjährigen Pause die Astronavigation wieder auf den Lehrplan für angehende Offiziere gesetzt. Und das, obgleich die US-Luftwaffe das GPS-System selbst besitzt und betreibt. Auch hier ist der Grund so einfach wie erschreckend: die Angst vor Hackern oder einem Attentat.

Die Handhabung des Sextanten, das Wissen um einige geografische und mathematische Grundlagen sowie die Anwendung der umfangreichen astronomischen Tafeln und Tabellen – ohne jede Mühe geht das nicht. Aber im Gegensatz zu dem, was viele glauben, ist es auch nicht sonderlich schwer zu erlernen. Wenn schon die einfachen Seeleute der Vergangenheit die Positionsbestimmung mithilfe der Gestirne beherrschten, sollte das für normal gebildete Menschen heute erst

**DIE MATERIE IST KOMPLEX. ZU BEGINN DAHER AUF DAS NÖTIGE BESCHRÄNKEN**

recht kein Problem sein! Leider behandeln viele Kurse und Bücher das Thema derart komplex, dass Laien vor lauter Fachvokabular, Tabellen, Korrekturen oder Beschreibungen der Himmelskugel schnell den Überblick verlieren und sich hoffnungslos in unendlichen Berechnungen verstricken.

**S**o weit muss man es – zumindest anfangs – nicht treiben. Wenn schon nur als sekundäre Navigationsmethode genutzt, darf man die Astronavigation so vereinfacht angehen wie eben möglich. Schon, um im nächsten Frühling problemlos wieder einsteigen zu können, ohne erneut dicke Bücher studieren zu müssen.

Hiesige Segler müssen beispielsweise nicht unbedingt die Astronavigation der Südhalbkugel beherrschen, das Winterhalbjahr berücksichtigen oder östliche Breitengrade berechnen können. Selbst dann nicht, wenn sie aus Europa Richtung Karibik unterwegs sind. Was fehlt, kann sich eine Crew allemal noch unterwegs aneignen, wenn die Blauwasserfahrt schon längst begonnen hat.

Im Folgenden beschränken sich die Anleitungen daher auch ausschließlich auf die Sonne. Obwohl die Berechnung nach den Sternen um ein Vielfaches einfacher ist als „die Sonne zu schießen“ und man weiterhin beim Schießen mehrerer Sterne sofort eine Position statt „nur“ eine Standlinie erhält. Aber die Sterne und Planeten sind eben →

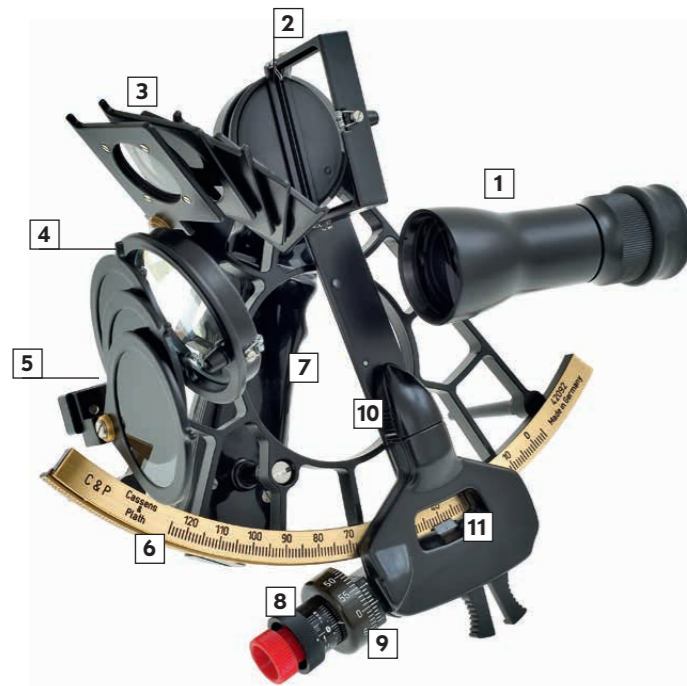


Von wegen altmodisch. Immer mehr Segler beschäftigen sich wieder mit der Positionsbestimmung anhand der Gestirne



## Schritt 1

## SO FUNKTIONIERT DIE WINKELMESSUNG MIT DEM SEXTANTEN



1 Fernrohr mit einstellbarem Okular

2 Großer oder Indexspiegel

3 Indexspiegel-Blendgläser

4 Kleiner oder Horizontspiegel

5 Horizontspiegel-Blendgläser

6 Limbus oder Gradbogen

7 Handgriff

8 Trommelschraube mit Minutenskala

9 Index für Minutenablesung

10 Alhidade (Kreisbogenarm)

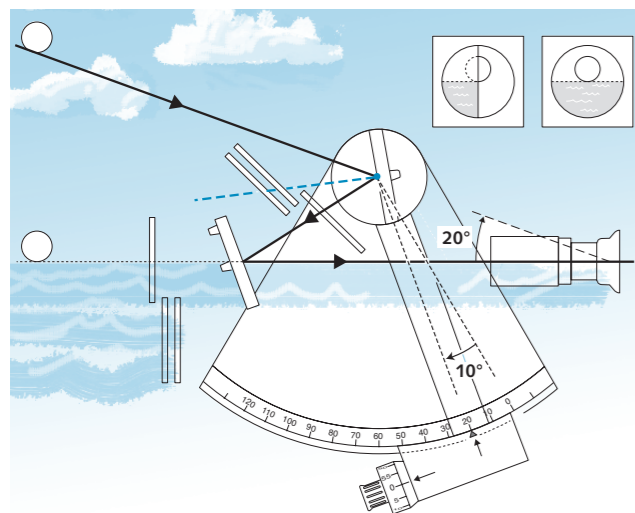
11 Index der Alhidade für Gradablesung

Der Sextant hat einen großen Indexspiegel, dessen Winkel verändert werden kann. Der kleinere, zweite Spiegel ist fest und entweder geteilt oder zur Hälfte transparent, sodass man darin sowohl das Abbild des ersten Spiegels sieht als auch an ihm vorbei beziehungsweise durch ihn hindurch schaut. Das Abbild der Sonne wird also erst gegen den beweglichen und dann gegen den festen Spiegel reflektiert, während man gleichzeitig den Horizont durch den zweiten Spiegel hindurch sieht.

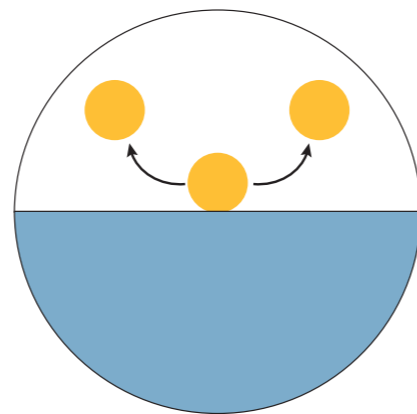
Die Aufgabe lautet nun, den veränderbaren Spiegel so einzustellen, dass die Sonne im festen Spiegel genau auf dem Horizont „liegt“. Ist das der Fall, liest man den zugehörigen Winkel auf der Skala des Sextanten ab und notiert die exakte Zeit.

Dabei ist es hilfreich, zu zweit zu arbeiten. Der „Sonnenschiefer“ stellt durch eine Pendelbewegung mit dem Sextanten nach rechts und links sicher, dass die gemessene Höhe genau vertikal ist, die Sonne also auch tatsächlich auf dem Horizont liegt und nicht seitlich darüber schwebt (siehe Grafik rechts unten). Der Assistent schreibt währenddessen die Zeit auf, wenn der Navigator „jetzt“ ruft – und zwar erst die Sekunden, dann die Minuten und schlussendlich die Stunden in UTC-Weltzeit.

### DER SONNENSCHUSS



Blendgläser vor die Spiegel klappen, durchs Fernrohr schauen und so viele Blendgläser wieder zurückklappen, bis die Sonne im Spiegel erkennbar wird. Dann die Alhidade sachte vor und zurück schieben, bis die Sonne im Spiegel den Horizont berührt. Zur Kontrolle eine seitliche Pendelbewegung mit dem Sextanten ausführen. In der Vertikalen muss die Sonne die tiefste Position einnehmen.



lediglich nachts zu sehen, wenn meist kein zum Winkelmessen erforderlicher Horizont erkennbar ist. So bliebe nur die kurze Zeit der Dämmerung zur Positionsermittlung. Ein Sonnenschuss ist hingegen zu beinahe jeder Tageszeit möglich.

Der Mond bleibt bei den weiteren Betrachtungen ebenfalls außen vor. Aufgrund seiner Nähe zur Erde fielen die erforderlichen Korrekturen, die in die Berechnungen einfließen müssten, allzu komplex aus.

Die einzigen Instrumente, die für die Astronavigation nötig sind, sind eine herkömmliche Quarzuhr sowie der Sextant (siehe Schritt 1). Der ist nichts anderes als ein sehr präziser Winkelmesser. Mit ihm misst man den Winkel zwischen einem Gestirn und dem Horizont. Bei einem Winkel von 0 Grad ginge der Stern – auch die Sonne ist ja ein solcher – gerade auf oder unter. Betrüge er hingegen 90 Grad, so stünde er genau über dem Betrachter.

Die Sonne zu schießen ist mit etwas Übung eine Sache von ein paar Minuten. Der Winkel, den man an seinem Sextanten abliest, heißt  $H_s$  (H für Höhe, s für Sextant). Dieser muss anschließend korrigiert werden (siehe Schritt 2 auf der nächsten Seite). Ist das geschehen, kommt der wahre beobachtete Winkel  $H_o$  (o für observed) heraus.

Im jährlich neu erscheinenden „Nautischen Jahrbuch“ ist man danach an genau einer Sache interessiert: am sogenannten „Bildpunkt“ der Sonne auf der Erde (wie er ermittelt wird, siehe Schritt 3 auf Seite 46). Der verändert sich sekundlich. Infolge der Erddrehung und ihrer sich über das Jahr verändernden Neigung gegenüber der Sonne rast dieser Bildpunkt mit großer Geschwindigkeit über die Erdoberfläche: in 24 Stunden einmal rund um den Globus, also jede vier Minuten einen Längengrad. Kein Wunder also, dass man eine genaue Uhr benötigt!

Würde man mit dem Sextanten 90 Grad messen, befände man sich genau auf dem Bildpunkt der Sonne. Dort würde beispielsweise ein exakt senkrecht stehender Stab keinen noch so kleinen Schatten werfen.

Da dies ein ziemlich großer Zufall wäre, wird man jedoch in der Praxis eher einen kleineren Winkel als 90 Grad messen. Zum Beispiel  $89^\circ 50'$ . Dann wäre klar, dass man 10 Bogenminuten und damit 10 Seemeilen, die bis zu den 90 Grad fehlen, von dem Bild-

Schritt 2

# VON H<sub>s</sub> ZU H<sub>o</sub> – SO NIMMT MAN DIE KORREKTUREN VOR

**DER INDEXFEHLER**

Unter Umständen ist ein Sextant nicht exakt justiert. Nicht weiter schlimm: Man stellt ihn einfach regelmäßig auf 0 Grad ein und kontrolliert dann, ob im kleinen Spiegel ein doppeltes Bild vom Horizont erscheint oder ob beide Bilder genau übereinander liegen. Ist tatsächlich eine Diskrepanz zwischen beiden Bildern vorhanden, dreht man einfach so lange an der Trommelschraube, bis nur noch ein Horizont erscheint. Auf der Skala lässt sich dann der Indexfehler ablesen. Es ist nicht komplizierter, als die Sekunden zu notieren, die die eigene Quarzuhr von der Weltzeit abweicht. Auch daran sollte man unbedingt denken!

**AUGENHÖHENKORREKTUR, SONNENMITTELPUNKT UND LICHTBRECHUNG**

Berücksichtigt werden muss, dass man sich an Deck eines Schiffs einige Meter über dem Meeresspiegel befindet. Der entsprechende Korrekturfaktor trägt die Bezeichnung „Dip“. Ferner wird nicht der Winkel zwischen Horizont und dem Mittelpunkt der Sonne, sondern nur zu deren unterem Rand gemessen. Auch dies erfordert eine Korrektur. Und schließlich verfälscht die Lichtbrechung in der Atmosphäre die Messung. Alle diese Korrekturen sind im „Nautischen Jahrbuch“ als „Gesamtbeschickung“ zusammengefasst. Wer es noch einfacher haben möchte, geht nach Bobby Schenks approximativer Faustregel vor: Da für die meisten Segler eine Augenhöhe von zirka zwei Meter über dem Meeresspiegel angenommen werden kann, braucht man lediglich folgende Bogenminuten zu dem vom Indexfehler bereinigten abgelesenen Winkel H<sub>s</sub> hinzuzuzählen:

- für Winkel zwischen 20 und 25 Grad 11 Bogenminuten,
- für Winkel zwischen 25 und 40 Grad 12 Bogenminuten,
- für Winkel über 40 Grad 13 Bogenminuten.

Kleinere Winkel als 20 Grad, also bei Sonnenaufgang oder -untergang, sollte man nicht messen.

Geht man nach Schenks Faustregel statt nach den genauen Werten der Tabellen vor, handelt man sich maximal einen Fehler von einer Bogenminute ein. Das entspricht im Endeffekt einer Seemeile bei der Positions-

Gesamtbeschickung für den Kimmabstand des Sonnenunterrandes

Kimmabstand	Augeshöhe in Meter																				
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
3	+1,8	-0,9	-2,0	-2,8	-3,6	-4,2	-4,8	-5,3	-5,7	-6,2	-6,6	-7,0	-7,4	-7,8	-8,2	-8,5	-8,8	-9,2	-9,5	-9,8	-10,1
3,5	+3,2	+0,6	-0,5	-1,3	-2,0	-2,6	-3,2	-3,7	-4,2	-4,7	-5,1	-5,5	-5,9	-6,3	-6,6	-6,9	-7,3	-7,6	-7,9	-8,2	-8,5
4	+4,4	+1,8	+0,7	-0,1	-0,8	-1,4	-2,0	-2,5	-3,0	-3,4	-3,8	-4,2	-4,6	-5,0	-5,4	-5,7	-6,0	-6,4	-6,7	-7,0	-7,3
4,5	+5,4	+2,8	+1,7	+0,9	+0,2	-0,4	-1,0	-1,5	-1,9	-2,4	-2,8	-3,2	-3,6	-4,0	-4,3	-4,7	-5,0	-5,3	-5,6	-5,9	-6,2
5	+6,3	+3,7	+2,6	+1,8	+1,1	+0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-1,9	-2,3	-2,7	-3,0	-3,4	-3,7	-4,1	-4,4	-4,7	-5,0	-5,3
5,5	+7,0	+4,5	+3,4	+2,6	+1,9	+1,3	+0,7	+0,2	-0,3	-0,7	-1,1	-1,5	-1,9	-2,3	-2,6	-2,9	-3,3	-3,6	-3,9	-4,2	-4,5
6	+7,7	+5,1	+4,1	+3,3	+2,6	+2,0	+1,4	+0,9	+0,4	0,0	-0,4	-0,8	-1,2	-1,6	-1,9	-2,3	-2,6	-2,9	-3,2	-3,5	-3,8
6,5	+8,3	+5,7	+4,6	+3,8	+3,1	+2,5	+2,0	+1,5	+1,0	+0,6	+0,2	-0,2	-0,6	-1,0	-1,3	-1,7	-2,0	-2,3	-2,6	-2,9	-3,2
7	+8,8	+6,2	+5,1	+4,3	+3,6	+3,0	+2,5	+2,0	+1,5	+1,1	+0,7	+0,3	-0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-1,5	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7
7,5	+9,2	+6,7	+5,6	+4,8	+4,1	+3,5	+3,0	+2,5	+2,0	+1,6	+1,1	+0,7	+0,4	0,0	-0,3	-0,7	-1,0	-1,3	-1,6	-1,9	-2,2
8	+9,6	+7,0	+6,0	+5,2	+4,5	+3,9	+3,4	+2,9	+2,4	+2,0	+1,6	+1,2	+0,8	+0,4	+0,1	-0,3	-0,6	-0,9	-1,2	-1,5	-1,8
8,5	+10,0	+7,4	+6,4	+5,5	+4,8	+4,2	+3,7	+3,2	+2,8	+2,3	+1,9	+1,5	+1,1	+0,8	+0,4	+0,1	-0,2	-0,5	-0,9	-1,1	-1,4
9	+10,3	+7,7	+6,7	+5,9	+5,2	+4,6	+4,0	+3,5	+3,1	+2,6	+2,2	+1,8	+1,4	+1,1	+0,8	+0,4	+0,1	-0,2	-0,5	-0,8	-1,1
9,5	+10,6	+8,0	+7,0	+6,2	+5,5	+4,9	+4,3	+3,8	+3,4	+2,9	+2,5	+2,1	+1,8	+1,4	+1,1	+0,7	+0,4	0,0	-0,3	-0,6	-0,9
10	+10,9	+8,3	+7,2	+6,4	+5,7	+5,1	+4,6	+4,1	+3,7	+3,2	+2,8	+2,4	+2,1	+1,7	+1,3	+1,0	+0,7	+0,4	+0,1	-0,2	-0,5
11	+11,3	8,8	7,7	6,9	6,2	5,6	5,1	4,6	4,1	3,7	3,3	2,9	2,5	2,2	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6	+0,3	0,0
12	+11,7	9,2	8,1	7,3	6,6	6,0	5,5	5,0	4,5	4,1	3,7	3,3	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7	+0,4
13	+12,1	9,5	8,4	7,7	7,0	6,4	5,8	5,3	4,9	4,4	4,0	3,6	3,3	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7
14	+12,4	9,8	8,8	8,0	7,3	6,7	6,1	5,6	5,2	4,7	4,3	3,9	3,6	3,2	2,9	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0
15	+12,6	10,1	9,0	8,2	7,5	6,9	6,4	5,9	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,5	3,1	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3
16	+12,8	10,3	9,2	8,4	7,8	7,2	6,7	6,2	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1	3,7	3,4	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8	1,5
17	+13,0	10,5	9,4	8,6	8,0	7,4	6,9	6,4	5,9	5,5	5,1	4,7	4,3	3,9	3,6	3,2	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7
18	+13,2	10,7	9,6	8,8	8,1	7,5	7,0	6,5	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,0	3,7	3,3	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8
19	+13,4	10,8	9,8	9,0	8,3	7,7	7,2	6,7	6,2	5,8	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,5	3,1	2,8	2,5	2,2	1,9
20	+13,5	11,0	9,9	9,1	8,4	7,8	7,3	6,8	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,3	3,9	3,6	3,2	2,9	2,6	2,3	2,0
22	+13,8	11,2	10,2	9,4	8,7	8,1	7,6	7,1	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,5	3,1	2,8	2,5	2,2
24	+14,0	11,4	10,4	9,6	8,9	8,3	7,8	7,3	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,0	3,7	3,3	3,0	2,7	2,4
26	+14,2	11,6	10,6	9,8	9,1	8,5	8,0	7,5	7,0	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,5	3,1	2,8	2,5
28	+14,3	11,8	10,8	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7	7,2	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,0	3,7	3,3	3,0	2,7
30	+14,5	11,9	10,9	10,1	9,4	8,8	8,3	7,8	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1	3,7	3,3	3,0	2,7
35	+14,8	12,2	11,2	10,4	9,7	9,1	8,6	8,1	7,6	7,2	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,0	3,7	3,3	3,0
40	+15,0	12,5	11,4	10,6	9,9	9,3	8,8	8,3	7,8	7,4	7,0	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,5	3,1
45	+15,1	12,6	11,6	10,8	10,1	9,4	8,9	8,4	7,9	7,5	7,1	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,3	3,9	3,5	3,1
50	+15,3	12,7	11,7	10,9	10,2	9,6	9,1	8,6	8,1	7,7	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1	3,7	3,3
55	+15,4	12,9	11,8	11,0	10,3	9,7	9,2	8,7	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,4
60	+15,5	13,0	12,0	11,2	10,5	9,9	9,3	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	6,4	6,1	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1	3,7
70	+15,7	13,2	12,2	11,4	10,7	10,1	9,5	9,0	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6	6,3	6,0	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4
80	+15,9	13,4	12,4	11,6	10,9	10,3	9,7	9,2	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	6,5	6,2	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6
90	+16,0	13,5	12,5	11,7	11,0	10,4	9,8	9,3	8,9	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9	6,6	6,3	5,9	5,6	5,3	5,0	4,7

Zusatzbeschickung für den Kimmabstand des Sonnenunterrandes

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
+0,3'	+0,2'	+0,1'	0,0'	-0,2'	-0,2'	-0,2'	-0,2'	-0,1'	+0,1'	+0,2'	+0,3'

bestimmung. Mit dieser Ungenauigkeit kann man leben – immer noch besser, als infolge eines Rechenfehlers völlig daneben zu liegen.

**RECHENBEISPIEL**

Am Sextanten wird am 5. August 2016 ein Winkel H<sub>s</sub> von 49° 05' abgelesen. Der Sextant weist einen Indexfehler von -0,2' auf. Dem „Nautischen Jahrbuch“ entnimmt man für den gemessenen Winkel von 49° eine Korrektur von 12,7'. Davon sind für den Monat August laut Zusatzbeschickung 0,2' abzuziehen. Die Gesamtbeschickung beläuft sich mithin auf 12,5'. Mit Schenks Regel würde sich die Gesamtbeschickung auf 13' belaufen, man hätte also nicht mehr als 0,5 Bogenminuten danebengelegt. Mit Berücksichtigung des Indexfehlers von -0,2' beläuft sich die Gesamtkorrektur auf 12,3'. Addiert man die zu H<sub>s</sub>, erhält man einen Winkel H<sub>o</sub> von 49° 17,3'

bestimmung. Mit dieser Ungenauigkeit kann man leben – immer noch besser, als infolge eines Rechenfehlers völlig daneben zu liegen. Die Gesamtbeschickung beläuft sich mithin auf 12,5'. Mit Schenks Regel würde sich die Gesamtbeschickung auf 13' belaufen, man hätte also nicht mehr als 0,5 Bogenminuten danebengelegt. Mit Berücksichtigung des Indexfehlers von -0,2' beläuft sich die Gesamtkorrektur auf 12,3'. Addiert man die zu H<sub>s</sub>, erhält man einen Winkel H<sub>o</sub> von 49° 17,3'



Schritt 3

# DELTA UND GRT – SO ERMITTELT MAN DIE POSITION DES BILDPUNKTES

2016 August 5 Freitag

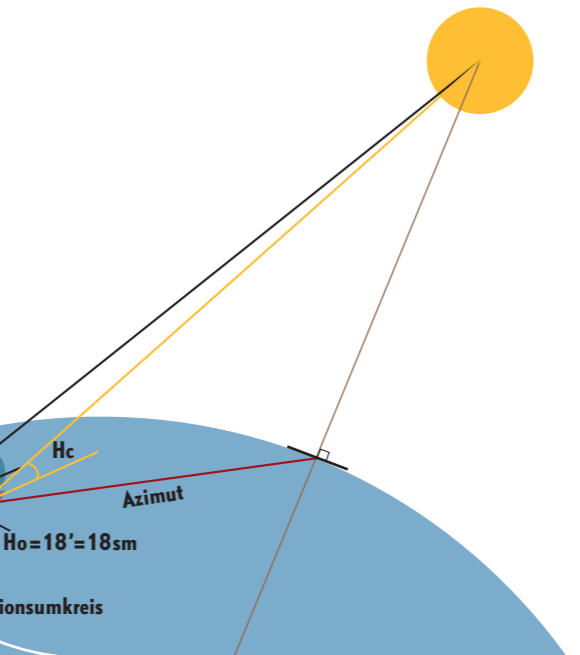
SONNE $r\ 15,8'$			MOND Alter 2,1 d			FRÜHLP.	
UT1	Grt	$\delta$	Grt	Unt	$\delta$	Unt	Grt
0	178 30,2	16 54,4 N	153 44,6	12,7	07 56,0 N	9,2	313 58,5
1	193 30,3	16 53,7	168 16,3	12,7	07 46,8	9,2	329 01,0
2	208 30,3	16 53,1	182 48,0	12,8	07 37,6	9,3	344 03,5
3	223 30,4	16 52,4	197 19,8	12,9	07 28,3	9,2	359 05,9
4	238 30,5	16 51,7	211 51,7	12,9	07 19,1	9,3	014 08,4
5	253 30,5	16 51,0 N	226 23,6	12,9	07 09,8 N	9,4	029 10,9
6	268 30,6	16 50,3					14 13,3
7	283 30,6	16 49,7	14	028 31,1	16 44,9		15 15,8
8	298 30,7	16 49,0	15	043 31,2	16 44,2 N		16 18,2
9	313 30,8	16 48,3	16	058 31,2	16 43,5		17 20,7
10	328 30,8	16 47,6	17	073 31,3	16 42,8		18 23,2
11	343 30,9	16 46,9	18	088 31,4	16 42,1		19 25,6
12	358 31,0	16 46,2	19	103 31,5	16 41,4		20 28,1
13	013 31,0	16 45,6	20	118 31,5	16 40,8 N		21 30,6
14	028 31,1	16 44,9	21	133 31,6	16 40,1		22 33,0
15	043 31,2	16 44,2 N	22	148 31,7	16 39,4		23 35,4
16	058 31,2	16 43,5	23	163 31,7	16 38,7		24 37,8
17	073 31,3	16 42,8					
18	088 31,4	16 42,1					
19	103 31,5	16 41,4					
20	118 31,5	16 40,8 N					
21	133 31,6	16 40,1					
22	148 31,7	16 39,4					
23	163 31,7	16 38,7					

Der Bildpunkt wird leider nicht einfach in Breiten- und Längengraden angegeben. Vielmehr ist er mit den viel komplizierter anmutenden Begriffen „Deklination“ (angegeben mit dem griechischen Delta,  $\delta$ ) und „Greenwicher Stundenwinkel“ (Grt) versehen worden. Beides entspricht jedoch im Prinzip dem Breiten- und dem Längengrad des Bildpunktes der Sonne. Mit dem einzigen Unterschied, dass der Greenwicher Stundenwinkel stets in Grad West angegeben wird und deshalb Werte zwischen 0 und 360 Grad haben kann. Im „Nautischen Jahrbuch“ sind die Positionen des Bildpunktes der Sonne für jeden Tag und jede Stunde des Jahres in den sogenannten Ephemeridentabellen dokumentiert.

**RECHENBEISPIEL**  
Die Deklination, also der Breitengrad des Bildpunktes der Sonne, lässt sich direkt in der Tabelle ablesen. Der in dem ersten Beispiel genannte Sonnenschuss am 5. August 2016 soll um 15 Uhr, 12 Minuten und 16 Sekunden UTC (Weltzeit) erfolgen sein. Dann findet sich dafür in den Tabellen eine Deklination von  $16^\circ 44,2' N$ . Da sich der Grt wie schon beschrieben jede Sekunde verändert, muss zu seinem 15-Uhr-Tabellenwert von  $043^\circ 31,2' W$  noch ein Zuwachs für die 12 Minuten und 16 Sekunden addiert werden. Zu finden ist der entsprechende Wert in den Schalttafeln am Ende des „Nautischen Jahrbuchs“. Er beträgt  $3^\circ 04'$ . Damit ergibt sich ein Grt von  $046^\circ 35,2' W$ .

12 min Schalttafel 13 min

12 min					13 min						
Zuwachs Grt					Zuwachs Grt						
12 min	Sonne Planet	Frühlp.	Mond	Unt	Vb	13 min	Sonne Planet	Frühlp.	Mond	Unt	Vb
0	3 00,0	3 00,5	2 54,4	3,3	0,7	11	3 17,8	3 18,3	3 08,7	3,3	0,7
1	3 00,3	3 00,7	2 54,7	3,6	0,8	12	3 18,0	3 18,5	3 09,0	3,3	0,7
2	3 00,5	3 01,0	2 54,9	3,9	0,8	13	3 18,3	3 18,8	3 09,2	3,3	0,7
3	3 00,8	3 01,2	2 55,1	4,2	0,9	14	3 18,5	3 19,0	3 09,4	3,3	0,7
4	3 01,0	3 01,5	2 55,4	4,5	0,9	15	3 18,8	3 19,3	3 09,6	3,3	0,7
5	3 01,3	3 01,7	2 55,6	4,8	1,0	16	3 19,0	3 19,5	3 09,8	3,3	0,7
6	3 01,5	3 02,0	2 55,9	5,1	1,1	17	3 19,3	3 19,8	3 09,9	3,3	0,7
7	3 01,8	3 02,2	2 56,1	5,4	1,1	18	3 19,5	3 20,0	3 10,0	3,3	0,7
8	3 02,0	3 02,5	2 56,3	5,7	1,2	19	3 19,8	3 20,2	3 10,1	3,3	0,7
9	3 02,3	3 02,7	2 56,6	6,0	1,3	20	3 20,0	3 20,4	3 10,2	3,3	0,7
10	3 02,5	3 03,0	2 56,8	6,3	1,3	21	3 20,3	3 20,6	3 10,3	3,3	0,7
11	3 02,8	3 03,3	2 57,0	6,6	1,4	22	3 20,5	3 20,8	3 10,4	3,3	0,7
12	3 03,0	3 03,5	2 57,2	6,9	1,4	23	3 20,8	3 21,0	3 10,5	3,3	0,7
13	3 03,3	3 03,8	2 57,4	7,2	1,5						
14	3 03,5	3 04,0	2 57,6	7,5	1,5						
15	3 03,8	3 04,3	2 57,8	7,8	1,6						
16	3 04,0	3 04,5	2 58,0	8,1	1,6						
17	3 04,3	3 04,8	2 58,2	8,4	1,7						
18	3 04,5	3 05,0	2 58,4	8,7	1,7						
19	3 04,8	3 05,3	2 58,6	9,0	1,8						
20	3 05,0	3 05,5	2 58,8	9,3	1,8						
21	3 05,3	3 05,8	2 59,0	9,6	1,9						
22	3 05,5	3 06,0	2 59,2	9,9	1,9						
23	3 05,8	3 06,3	2 59,4	10,2	2,0						



punkt entfernt wäre. Eine Seemeile entspricht ja gerade einem Sechzigstel auf einem Großkreis, sodass eine Bogenminute am Sextanten einer Seemeile gleichkommt.

Wo genau sich das Schiff dann befindet, ist zwar weiterhin unbekannt. Bekannt aber ist zumindest der Abstand zum zuvor ermittelten Bildpunkt und auch die ungefähre Richtung zur Sonne (genannt Azimut), die ja zu sehen ist.

Das Schiff befindet sich also auf einem kleinen Teil eines Umkreises um den Bildpunkt, der Standlinie. Zwei solche Standlinien, und schon wäre die eigene Position ermittelt. Die zweite Standlinie könnte etwa von einem anderen Gestirn zur gleichen Zeit sein. Oder man schießt die Sonne nochmals ein paar Stunden später. Dann müsste aber die erste Standlinie um den zwischenzeitlich gesegelten Kurs und die dabei zurückgelegte Strecke verschoben werden.

So weit das Prinzip, das man nie aus dem Auge verlieren sollte.

**W**ie aber gelangt man nun zu seiner Standlinie? Nach dem Zweiten Weltkrieg haben die Amerikaner, um ihre Langstreckenbomber einfacher navigieren lassen zu können, quasi vorgearbeitet: Für ein Netz bestehend aus vielen Orten dieser Welt, sogenannte „Rechenorte“, wurden die Winkel  $H_c$  (c für calculated) bestimmt. Der Navigator an Bord muss nun nur die Abweichung zwischen seinem eigenen Winkel  $H_o$  und dem des berechneten Winkels des nächstgelegenen Rechenortes  $H_c$  herausfinden.

Wäre der Unterschied 0 Grad, würde er sich genau an besagtem Rechenort befinden. Betrüge er zum Beispiel 18 Bogenminuten, wäre er 18 Seemeilen davon entfernt, und zwar längs eines Stücks des Umkreises, den man entweder zur Sonne hin oder von der Sonne weg verschieben muss. Das ist abhängig davon, ob  $H_o$  größer oder kleiner  $H_c$  ist (siehe nebenstehende Grafik).

Die Frage ist nur: Welches ist der nächstgelegene Rechenort, und welchen Winkel hätte man dort messen müssen?

Die vielen Rechenorte für die Langstreckenbomber konnten in nur drei Bänden zusammengefasst werden. Diese Tafeln sind die „Sight Reduction Tables for Air Navigation Pub No 249“; sie gliedern sich in einen Band für die Sterne, einen fürs tropische →



Schritt 4

Hc – SO ERMITTELT UND SO KORRIGIERT MAN DEN DEN RECHENORT

Den nächstgelegenen ganzgradigen Breitengrad zu wählen ist einfach: Glaubt man sich ungefähr auf 42° 12' N, bestimmt man 42° N als den Breitengrad von Hc.

RECHENBEISPIEL

Hat man zirka einen Längengrad von 009° 55' W, und der Längengrad der Sonne (Gr) am 5. August um 15:12:16 Uhr UTC ist abgerundet 046° 35' W, nimmt man als Rechenort 9° 35' W.

Mit diesen Werten geht man in die „Sight Reduction Table“. Darin wählt man die Seite für den Breitengrad des Rechenortes (hier 42°) unter Beachtung von „Same“ bzw. „Opposite“ (hier „Same“, da sich das Schiff als auch im Sommer die Sonne auf der nördlichen Halbkugel befinden).

DIE KORREKTUR VON Hc Der Winkel Hc aus der Tabelle gilt ja für die ganzgradige Deklination der Sonne (16°), obwohl die ja auch noch aus Minuten besteht, im Beispiel 44'. Deshalb muss man nun für die 44 Minuten und den Korrekturfaktor d

Table with columns for LHA, Ho, Hc, and various declination values. Includes a 'SIGHT REDUCTION TABLE' section with circled values.

TABLE 5. — Correction to Tabulated Altitude for Minutes of Declination. A grid of correction values for different declination minutes.

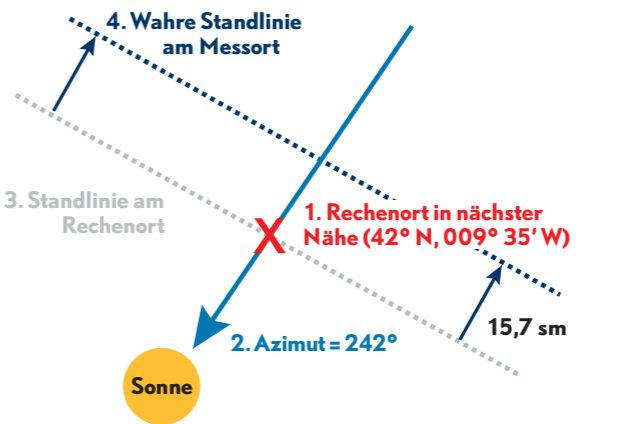
noch ein paar Bogenminuten zu dem Hc hinzuzählen. Wie viele, ersieht man aus „Table 5 – Correction to Tabulated Altitude for Minutes of Declination“.

am Rechenort hätte messen sollen, wäre im Rechenbeispiel also 49° 01' + 32' = 49° 33'.

DER KORREKTUR VON Z Befindet sich das Schiff auf der nördlichen Erdhalbkugel und der Local Hour Angle wäre größer als 180°, entspräche der Wert Z aus der Tabelle direkt auch dem Azimut.

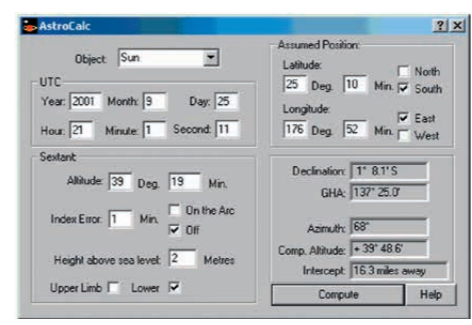
Schritt 5 VON DEN WERTEN IN DIE KARTE: SO ERHÄLT MAN DIE STANDLINIE

- 1. Man zeichnet den Rechenort Hc in die Seekarte. 2. Man zeichnet von dort den Azimut zum Bildpunkt der Sonne hin. 3. Man zeichnet durch den Rechenort im rechten Winkel zum Azimut eine provisorische Standlinie. Auf der befände man sich, wenn Ho und Hc gleich wären. 4. Schließlich verschiebt man die Standlinie parallel um den Abstand zwischen Ho und Hc.



parallelverschoben. Ist Ho kleiner als Hc, wird sie weiter vom Bildpunkt der Sonne weg verschoben. Im Rechenbeispiel beträgt die Differenz zwischen Hc und Ho 49° 33' - 49° 17,3' = 15,7'. Ferner ist Ho kleiner als Hc. Die provisorische Standlinie wird also um 15,7 Seemeilen längs des Azimuts von der Sonne weg verschoben. Dort befindet sich dann die wahre Standlinie.

Eine Astronaventions-App bietet die Tabellen in elektronischer Form dar. Das Nachschlagen in den Handbüchern entfällt. Auch hat sie den Vorteil, dass man dank Logarithmenberechnung jede Position als Rechenort wählen kann und nicht nur die in den „Sight Reduction Tables“ vorkalkulierten.



schöner Grafik. Das Prinzip, auf dem sie basieren, aber ist gleich geblieben. Man muss dieselben Daten eingeben und erhält den gleichen Output wie aus den Tabellen. Das Foto unten links zeigt die AstroCalc-App von Pangolin. In der Eingabemaske werden in die weißen Felder Objekt, Datum, Zeit, gemessene Höhe, Indexfehler, Höhe über Meeresspiegel, Sonnenrand und Rechenort eingetragen. Nach Druck auf „Compute“ erhält man die Deklination, den Grt, den Azimut, (Hc) und den Abstand (graue Felder). Bei der Astro-App ezSights von ezCelestial kann man seine Messungen ablegen, und zusätzlich werden die Standlinien grafisch dargestellt und „versegelt“, sobald der Kurs und die Distanz eingegeben sind (Foto unten rechts).

Segeln zwischen dem 0. und 40. Breitengrad sowie einen ab dem 40. Breitengrad. Dabei gelten folgende Überlegungen: Für den Winkel ist es egal, ob sich die Sonne über Asien befindet und man selbst in Europa ist oder ob die Sonne über Europa steht, während man gerade auf dem Atlantik segelt.

Die Rechenorte sind jeweils für ganze Breitengrade und ganze Grade für den Unterschied zwischen Ho und dem Bildpunkt der Sonne erstellt. Somit spannt sich ein Netz von Punkten über die ganze Welt, die nicht weiter als jeweils 60 Seemeilen voneinander entfernt liegen.

Der Navigator braucht lediglich den nächstgelegenen Rechenort zu ermitteln und um einige Werte zu korrigieren (siehe Schritt 4), dann ist er beinahe auch schon am Ziel. Der Rechenort ist gewählt (im Beispiel 42° N, 009° 35' W), der dortige Winkel Hc berechnet (im Beispiel 49° 33') und die Richtung zur Sonne, der Azimut, ermittelt (im Beispiel 242°).

Da sich das Schiff indes nicht genau am Rechenort befindet, stimmt Ho natürlich auch nicht mit Hc überein. Es befindet sich vielmehr auf der schon angesprochenen Standlinie, die wiederum als ein Stück vom Umkreis um den Bildpunkt der Sonne im rechten Winkel zum Azimut steht.

All das lässt sich nun in die Karte übertragen (siehe Schritt 5). Auf diese Weise erhält man die Standlinie, auf der sich das Schiff befindet. Ein paar Stunden später wird die Sonne nochmals geschossen, eine zweite Standlinie berechnet und auch diese in die Karte eingezeichnet. Sodann wird die erste Standlinie um den zwischenzeitlich gesegelten Kurs und die dabei zurückgelegte Distanz verschoben. Der Schnittpunkt beider Linien ist die Schiffsposition.