



V 1.6 (08/2022)

# Kurze Anleitung zur Konventionellen Navigation

bei Ausfall von GNSS oder navigationsrelevanter Elektronik-Komponenten  
von Prof. Dr.-Ing. Franka-Maria Mestemacher

in

**37 Verfahrensanweisungen**

Herausgeber dieser Ausgabe:

**S.T.A.G.** — Sail Training Association Germany e.V., Coloradostr.7, 27580 Bremerhaven

---

© Franka-Maria Mestemacher 2022 – Weitergabe und Vervielfältigung erlaubt.

**Autorin: Prof. Dr.-Ing. Franka-Maria Mestemacher**

Hochschule Stralsund  
Zur Schwedenschanze 15  
D-18435 Stralsund

E-Mail: [franka-maria.mestemacher@hochschule-stralsund.de](mailto:franka-maria.mestemacher@hochschule-stralsund.de)  
Internet: [www.franka-maria.de](http://www.franka-maria.de)

**Co-Autor: Prof. Dr.-Ing. Jens Ladisch**

Hochschule Stralsund  
Zur Schwedenschanze 15  
D-18435 Stralsund

E-Mail: [jens.ladisch@hochschule-stralsund.de](mailto:jens.ladisch@hochschule-stralsund.de)

### **Haftungsausschluß**

Die Autorin hat alle Sorgfalt walten lassen, um vollständige und akkurate Informationen in diesem Buch zu publizieren. Die Autorin und auch die Sail Training Association Germany e.V. (S.T.A.G.) als Herausgeber übernehmen weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für die Nutzung dieser Informationen, für deren Wirtschaftlichkeit oder fehlerfreie Funktion für bestimmten Zweck. Ferner kann weder die Autorin noch die S.T.A.G. für Schäden, die auf einer Fehlfunktion von Programmen oder ähnlichem zurückzuführen sind, haftbar gemacht werden. Auch nicht für die Verletzung von Patent- und anderen Rechten Dritter, die daraus resultieren. Autorin und S.T.A.G. übernehmen keine Gewähr dafür, daß die beschriebenen Verfahren, Programme usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Abhandlung berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz: Autorensatz mit L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

© Franka-Maria Mestemacher 2022

## Vorwort

Nachdem die technische Entwicklung der Navigation auf See über Jahrhunderte nur langsame Fortschritte zu verzeichnen hatte, ändert sich das in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts. Zunächst mit der Erfindung von RADAR und DECCA in England, LORAN folgt in den USA, bis dann in den 1970ern aufgrund der massiven Fortschritte in der Raumfahrt die Idee aufkommt, ein globales satellitengestütztes Navigationssystem zu entwickeln (Global Navigation Satellite System, GNSS). Das US-amerikanische Global Positioning System (NAVSTAR GPS) macht Mitte der 1990er den Anfang, weitere folgen mit GLONASS, GALILEO und BeiDou, vgl. [9] Abschnitt 11.22-36.

Mit dem GPS war nun erstmalig der Schiffsort unabhängig vom Fahrtgebiet in Echtzeit vorhanden und brauchte nur noch in die Seekarte eingetragen werden. Kurze Zeit später war mit Aufkommen von Kartenplottern bzw. ECDIS auch das nicht mehr nötig. Der Navigator nimmt seitdem die Rolle eines Zuschauers ein. Schon früh kam daher die Diskussion auf, wie einem technischen Ausfall auf Seiten der GNSS-Satelliten zu begegnen sei. Inzwischen ist diese Frage nicht mehr maßgeblich. Die Welt ist jedoch im Zuge der Globalisierung und diverser ethnisch-religiöser Konflikte sehr viel unfreundlicher geworden als noch vor 50 Jahren. **Inzwischen ist damit zu rechnen, daß in militärischen Spannungsfällen nicht nur bestimmte Satelliten abgeschaltet werden, sondern die gesamte GNSS-Navigation durch Störsender (auch im Orbit) sabotiert wird (*navigation warfare*).** Und die Frage hier ist nicht, ob das passieren wird, sondern wann das sein wird. Navigatorische Ersatzbetriebslösungen sind also nach wie vor aktuell.

Waren die Hyperbelnavigationsverfahren DECCA und LORAN aufgrund ihrer Sendefrequenz im Langwellenbereich kaum störfähig, so handelt es sich bei den GNSS um sehr schwache, sehr leicht störfähige Signale. Elektronik, die in einem Umfeld von beachtlichem Ausmaß die GNSS-Signale völlig unterbindet (*jamming*), ist zudem für wenig Geld für jedermann zu haben. Ab 1000 \$ sind Geräte zu haben, die GNSS-Empfänger und damit Schiffe gezielt in die Irre führen können (*spoofing*). Es gibt somit also auch die Gefahr krimineller oder terroristischer Bedrohung der GNSS-Navigation.

**Die (wenigstens elementare) Beherrschung der konventionellen Navigation bietet sicheren Schutz vor jeder Art von Ausfall der elektronischen Navigation !**

Diese „Anleitung“ ist indes kein Ersatz für Lehrbücher der Terrestrischen und Astronomischen Navigation (dazu sei auf das Literaturverzeichnis verwiesen). Jede(r) Nautiker/Nautikerin sollte sich (immer mal wieder) in „Friedenszeiten“ damit befassen! Davon abgesehen, macht es tiefe Befriedigung zu erfahren, wie es ist, nicht nur Zuschauer zu sein. Zeit dafür sollte zumindest auf transozeanischen Reisen mehr als genug sein.

Auf vielen SOLAS-Schiffen, insbesondere solchen, die nun nur noch mit ECDIS fahren, ist die zur Konventionellen Navigation erforderliche Ausrüstung allenfalls noch teilweise vorhanden. Und das, was noch an Bord ist, ist im Notfall nicht immer gleich auffindbar. Es wird ja sonst nie genutzt. Um im Falle eines GNSS-Notfalls ohne Zeitverzug zu den bewährten konventionellen Methoden, deren Ergebnisse im übrigen in das ECDIS importiert werden können, zurückkehren zu können, ist es sinnvoll, einen Schrank, eine Kiste o.ä. für diesen Zweck zu reservieren.

So ist von mir für die Bark ALEXANDER V. HUMBOLDT II im Rahmen des Cyber-Risk-Managements nach ISM-Code die Idee des **Blauen Schanks** entwickelt worden (siehe hierzu Teil D). Auf traditionellen Großseglern – in Deutschland meist (aber nicht immer) „Traditionsschiffe“, die nicht unter SOLAS fahren – hat die Konventionelle Navigation gleichwohl einen immer noch guten Stand. Aber auch hier gilt es, die traditionellen Navigationsverfahren hoch zu halten – das ist eine Frage der vielbeschworenen guten Seemannschaft.

Nicht zuletzt ist das Konzept zum „Blauen Schrank“ einschließlich einer Basis-Ausbildung zur Konventionellen Navigation auch für die **Berufsschiffahrt** interessant. Bisher führen trotz ECDIS immer noch zahlreiche Nautiker und Nautikerinnen, die die „alten“ Methoden mal solide gelernt hatten und im Notfall darauf zurückgreifen konnten. Aber diese Erfahrung ist im Schwinden begriffen. Für die jungen Leute auf der Brücke von Kauffahrteischiffen ist die Schiffsführung mit all ihrer Elektronik heute kaum mehr als ein Computerspiel – ergänzt um eine ausufernde Seefahrtsbürokratie.

Diese „Kurzanleitung“ möge allen eine wertvolle Hilfe sein, um im Notfall die notwendigen Kenntnisse schnell reaktivieren zu können. Aber nicht nur, denn die konventionellen Methoden erweitern das Verständnis für die gesamte Navigation nicht unwesentlich!

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	4
<b>Teil A — Terrestrische Navigation (VA-T..)</b>	5
Umwandlung von Kursen und Peilungen	6
Standlinien	8
Wahrer Ort und Koppelnavigation	8
VA-T01 Peilung mit Kreiselkompaß	9
VA-T02 Peilung mit Magnetkompaß	10
VA-T03 Abstand durch Vertikalwinkelmessung	11
VA-T04 Abstand eines „Feuers in der Kimm“	12
VA-T05 „Abstand“ aufgrund von Horizontalwinkel	13
VA-T06 Ort aufgrund von Peilung und Abstand	14
VA-T07 Ort aufgrund Kreuzpeilung	15
VA-T07a Ort aufgrund Peilung und Horizontalwinkel	15
VA-T07b Ort aufgrund Peilung und Horizontalwinkel	15
VA-T08 Ort aufgrund von Doppelpeilung	16
VA-T09 Ort aufgrund von Doppelwinkelmessung	17
VA-T10 Ort aufgrund von zwei Abständen	19
<b>Teil B — Astronomische Navigation (VA-A..)</b>	21
Grundlagen	21
VA-A00 Sextant – Spiegeljustierung	22
VA-A01 Sextant – Ablesung/Indexbeschickung	25
VA-A02 Gestirne und Beschickungsrechnung	27
VA-A03 Sekundengenaue Zeit, Chronometer	28
VA-A04 Praxis der Höhenmessung	30
VA-A05 Ephemeriden	31
VA-A05a Ephemeriden für Sonne und Fixsterne mit [5]	32
VA-A06 Höhenverfahren/Taschenrechner, manuell	35
VA-A07 Höhenverfahren/Rechnerprogramm	36
VA-A08 Höhenverfahren/HO 249, Vol. 2/3	37
VA-A09 Höhenverfahren/HO 249, Vol. 1, Fixsterne	38
VA-A10 Identifikation unbekannter Fixsterne	39
VA-A11 Konstruktion der Standlinie	41
VA-A12 Zwei astronomische Standlinien	43
VA-A13 Gebrauch der MERCATOR-Netze	44
<b>Teil C — Ergänzungen (VA-E..)</b>	45
VA-E01 Astronomische Kompaßkontrolle I	46
VA-E02 Astronomische Kompaßkontrolle II	47
VA-E03 Großkreisrechnung I	48
VA-E04 Großkreisrechnung II	49
VA-E05 Besteckrechnung I, Vergrößerte Breite	50
VA-E06 Besteckrechnung II, Vergrößerte Breite	51
VA-E07 Stromnavigation	52
VA-E08 Umrechnung scheinbarer/wahrer Wind	55
VA-E09 Relingslogge	58
VA-E10 Gebrauch des Taschenrechner CASIO <i>fx-9860GII SD</i>	59
<b>Teil D — „Blauer Schrank“</b>	61
Idee und Konzept des Blauen Schranks	61
Sinnvoller Inhalt des Blauen Schranks	62
Literatur	67
Anhang	68

# Teil A — Terrestrische Navigation



In der **Terrestrischen Navigation** werden terrestrische Objekte (Landmarken) zur Ermittlung des Schiffsortes verwendet. Dies setzt voraus, daß diese zum Zwecke der Peilung und/oder Abstandsmessung einerseits beobachtbar andererseits in der Seekarte zweifelsfrei identifizierbar sind. Die diesbezüglichen Verfahren sind also nur in Küstennähe anwendbar.

# Umwandlung von Kursen und Peilungen

(siehe auch [DIN 13312])

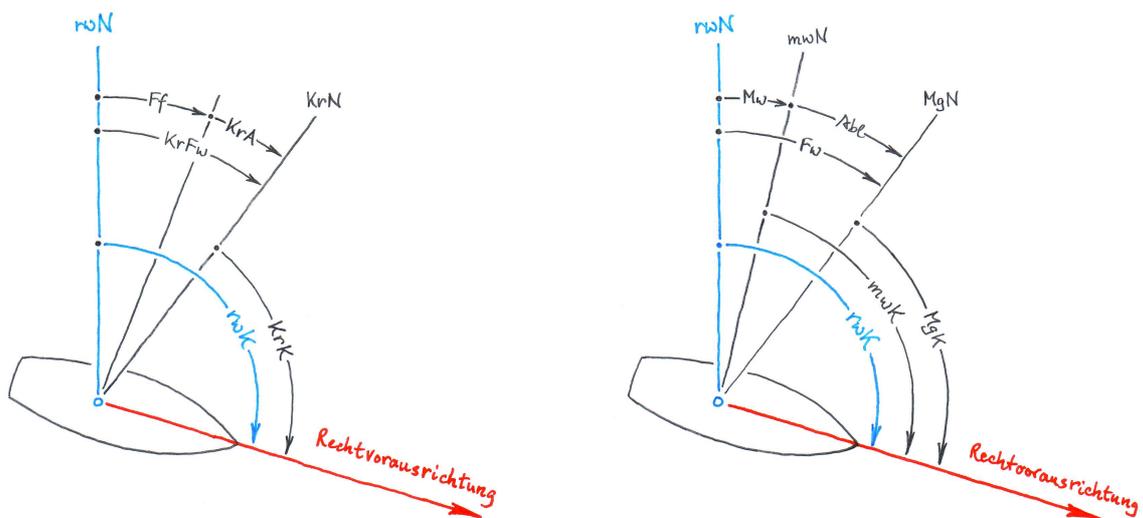


Bild 1: Kursverwandlungen

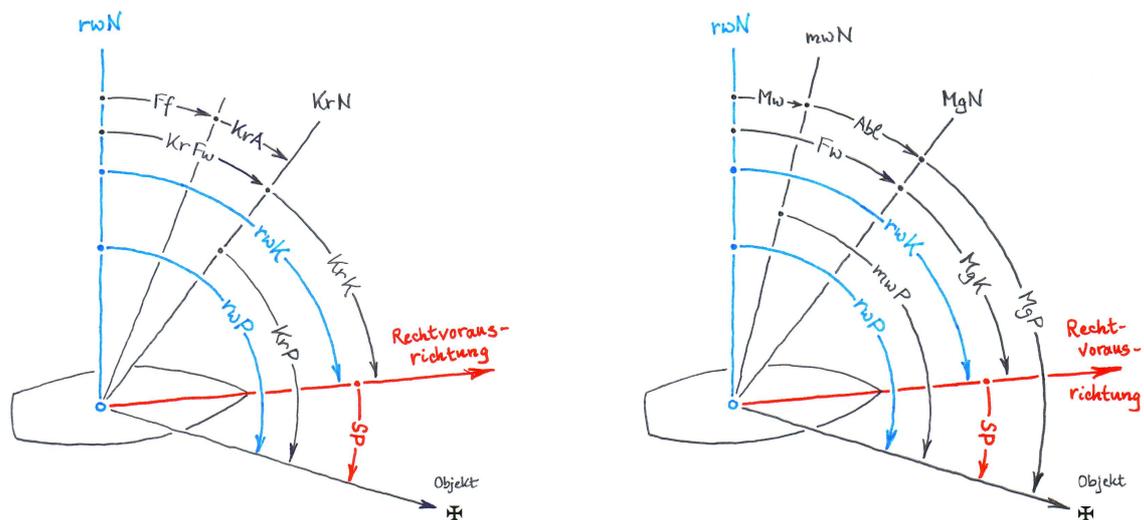


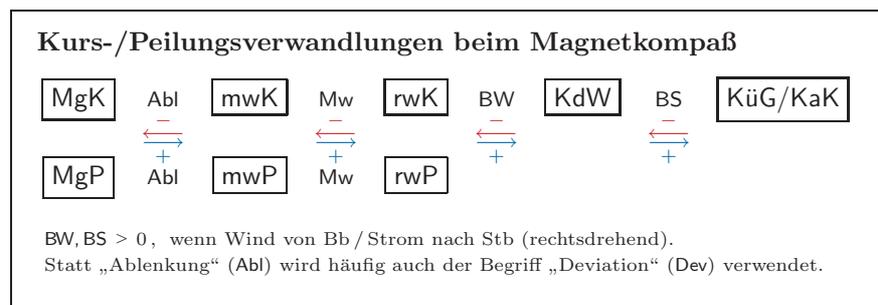
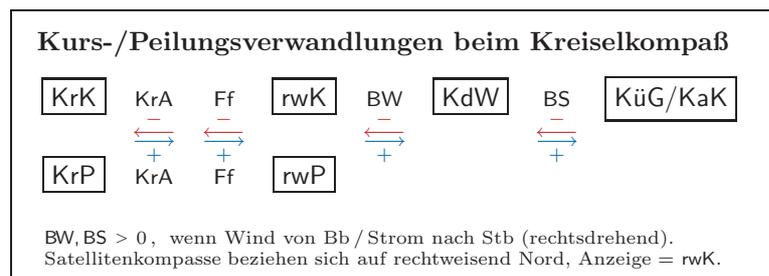
Bild 2: Peilungsverwandlungen

## Formelzeichen

KrK	Kreiselkompaßkurs	MgK	Magnetkompaßkurs	mwK	mißweisender Kurs
rwK	Rechtweisender Kurs	KdW	Kurs durchs Wasser	KüG	Kurs über Grund
KaK	Kartenkurs				
KrP	Kreiselpeilung	MgP	Magnetpeilung	mwP	mißweisende Peilung
rwP	Rechtweisende Peilung	SP	Seitenpeilung		
KrA	Kreisel-A	Ff	Fahrtfehler	Abl	Ablenkung
Mw	Mißweisung	BW	Beschickung/Wind	BS	Beschickung/Strom

Der *Kurs über Grund* KüG und der *Kartenkurs* KaK unterscheiden sich dadurch, daß ersterer die finale Ergebnisgröße („Istkurs“) darstellt, während letzterer Ausgangspunkt („Sollkurs“) der Rechnung ist. Anstelle der Ablenkung Abl wird häufig auch die Bezeichnung *Deviation* mit Formelzeichen Dev verwendet (siehe Deviationstabelle).

## Merkschema für die Umrechnungsgleichungen



Die eingerahmten Größen stellen Kurse oder Peilungen dar, die ineinander umgerechnet werden sollen. Dazwischen liegen die Beschickungen. Die Anwendung erfolgt auf folgende Weise:

1. Je nach Kompaßtyp im geeigneten Schema die Kurs-/Peilungsgröße aufsuchen, die einem vorliegt (**Ausgangsgröße**). (z.B. KaK)
2. Im gleichen Schema die gewünschte **Zielgröße** aufsuchen. (z.B. rwK)
3. Alle zwischen diesen Größen liegenden Beschickungen entsprechend der Pfeilrichtung zur Ausgangsgröße algebraisch hinzuaddieren bzw. von ihr subtrahieren. (entsprechend  $\leftarrow$  wird hier BS und BW von KaK **subtrahiert**)
4. Das Ergebnis ist die gesuchte Zielgröße. Sie steht immer am Ende der jeweils gewählten Pfeilkette. Evtl. zwischen Ausgangs- und Zielgröße liegende Kurse/Peilungen werden ignoriert. (Ergebnis: KaK - BS - BW = rwK)

Der Vorteil dieser Schemata ist insbesondere, daß sie nicht nur die „Komplett“-Gleichungen mit sämtlichen Beschickungen wiedergeben, sondern es auch gestatten, „zwischen drin ein- und auszusteigen“.

### Weitere Beispiele:

$$\text{MgK} + \text{Abl} = \text{mwK} ,$$

$$\text{MgK} + \text{Abl} + \text{Mw} = \text{rwK} ,$$

$$\text{KdW} - \text{BW} = \text{rwK} ,$$

$$\text{KdW} - \text{BW} - \text{Mw} - \text{Abl} = \text{MgK} .$$

Die traditionellen deutschen **Merksätze** lauten

Vom **Falschen** (= Fehlerbehafteten) zum **Wahren** (= nahezu Fehlerfreien) mit dem „**wahren**“ **Vorzeichen** (algebraisch +)

und

Vom **Wahren** (= nahezu Fehlerfreien) zum **Falschen** (= Fehlerbehafteten) mit dem „**falschen**“ **Vorzeichen** (algebraisch -)

# Standlinien

**Standlinien** sind geometrische Kurven, die in Seekarten eingezeichnet werden und den Schiffsort enthalten. Es gibt

- **Geraden** („Kurven“ konstanter Richtung). Sie werden durch Peilungen zu Landmarken ermittelt (→ **VA-T01/02**) oder ergeben sich beim astronomischen Höhenverfahren (→ **VA-A11**) als Tangenten der Höhengleiche.
- **Kreisbögen** (Kurven konstanten Abstandes) zu einer Landmarke oder einem geometrisch konstruierten Punkt. Ermittlung auf verschiedene Art (→ **VA-T03/04/05**).

Jede Standlinie bezieht sich (zunächst) auf den Zeitpunkt ihrer Ermittlung!

Darüberhinaus können Standlinien auch zu späteren (seltener: früheren) Zeitpunkten verwendet werden. Dazu muß man sie unter Kenntnis von *Kurs über Grund* KüG und *Distanz über Grund* DüG **versegeln**. Dies geschieht, indem ein beliebiger Punkt der Standlinie in der Seekarte entlang des KüG um die DüG verschoben wird, die im betrachteten Zeitraum zurückgelegt wurde. Die Figur der Standlinie wird auf diese Weise parallel verschoben. Bei Geraden sind alle Punkte der Standlinie dafür gleichermaßen geeignet, bei Kreisbögen ist man gut beraten, nur den Mittelpunkt zu verwenden.

Versiegelte Standlinien sind von schlechterer Qualität als eingemessene Standlinien, da die Kenntnis von KüG, DüG Fehlereinflüssen unterworfen ist, die mit der Zeit erheblich zunehmen.

Für die Verfahrensanweisungen zur Einmessung von Peilungen → **VA-T01/02**, Abstandsmessungen werden in **VA-T03/04** beschrieben.

Als **Landmarken** kommen nicht alle Geländepunkte in Frage, die sich vom Schiff aus beobachten lassen. Entscheidend ist, daß diese auf der Karte eingetragen sind und sich eindeutig identifizieren lassen, also **einwandfreie Kartenpunkte** sind.

**Insbesondere bei Tonnen ist Vorsicht angebracht! (Verwechslung/nicht exakt auf Position)**

## Wahrer Ort und Koppelnavigation

Die Ermittlung des **wahren Ortes**  $O_w$  erfolgt durch Kombination (mind.) zweier Standlinien, die sich auf den gleichen Zeitpunkt beziehen, und ergibt sich an der Stelle, wo die Standlinien sich schneiden. Aus Gründen einer unerwünschten Fehlerverstärkung (*dilution of precision*) darf der Schnittwinkel nicht zu klein sein (möglichst  $> 30^\circ$ )

Der Zeitpunkt der verwendeten Standlinien gilt also auch für den damit ermittelten wahren Ort und wird in der Seekarte notiert. Der wahre Ort selbst wird dadurch markiert, daß der Schnittpunkt eingekreist wird (Radius möglichst  $\leq 5$  mm). Das Einmessen weiterer Standlinien dient der Kontrolle. Auf die Betrachtung des wahrscheinlichsten Ortes bei drei und mehr Standlinien sei hier verzichtet.

Der Ausdruck „wahrer Ort“ bedeutet nicht, daß dieser nicht in gewisserweise auch fehlerbelastet sein kann. Vielmehr handelt es sich um den Ort, der zum gegebenen Zeitpunkt unter Verwendung der bestmöglichen Mittel eben den genauesten Schiffsort darstellt, der zur Zeit möglich ist.

**Ist das Ermitteln des wahren Ortes nicht möglich (keine Landmarken, schlechte Sicht, ...), ist notgedrungen der letzte wahre Ort zu versegeln nach KüG und DüG bis zum aktuellen Zeitpunkt.** Diese Vorgehensweise, die ja nur einen alten Schiffsort auf der Seekarte „fortschreibt“, heißt **Koppeln**. Der so erzeugte **Koppelort**  $O_k$  wird in der Seekarte nicht eingekreist, damit seine schlechtere Qualität offenbar ist. Dieselbe verschlechtert sich zudem noch mit zunehmender Zeit, die seit dem letzten wahren Ort vergangen ist.

Es gibt darüberhinaus noch in einigen Ortsbestimmungsverfahren (z.B. → **VA-T08**) die Situation, daß ein Ort mit Hilfe sowohl von aktuell eingemessenen als auch versiegelten Standlinien ermittelt wird, etwa weil auf weiter Strecke nur eine Landmarke verfügbar ist. Hier handelt sich um eine Mischform, deren Qualität zwischen dem wahren Ort und dem Koppelort angesiedelt ist. Formal werden derartige ermittelte Örter auch als „wahrer Ort“ verbucht. Man muß sich aber über die Situation im Klaren sein.

## VA-T01 Peilung mit Kreiselkompaß

Schiffe von  $\geq 500$  GT müssen nach SOLAS, Regel 19, mit einem **Kreiselkompaß** (*gyro compass*) und einer Kreiseltochter einschließlich einer 360°-Peilvorrichtung ausgerüstet sein. Auf kleineren Schiffen, insbesondere solchen, die unregelmäßig betrieben werden, und auch auf Sportbooten hat sich der Kreiselkompaß aus verschiedenen Gründen (langwierige Inbetriebnahme, hoher Stromverbrauch) nicht durchgesetzt.

**Vorteil:** Mit den Kreiselöchtern sind sehr genaue Peilungen möglich, sofern regelmäßige Kompaßkontrollen (siehe Teil C, → **VA-E01/02**) stattfinden.

**Nachteil:** keiner

### Verfahrensanleitung:

- Peildioptr auf die zum Peilen vorgesehene Kreiseltochter aufsetzen.
- Landmarke anvisieren,
- gleichzeitig die Kreiselpeilung  $KrP$  ablesen und samt Uhrzeit notieren.
- Kreiselpeilung gemäß Umrechnungsschema (siehe S. 7) in rechtweisende Peilung  $rwP$  umrechnen.
- Normalerweise muß für letzteres der Fahrtfehler  $Ff$  bekannt sein. Dieser kann entweder mit der Zahlenwert-Formel

$$Ff = \arcsin \left[ - \frac{v_G / \text{kn} \cos KrK}{902,465 \cos \varphi} \right], \quad (v_G \text{ ist Geschwindigkeit über Grund}) \quad (1)$$

berechnet oder aus Tafel 15 in [1] entnommen werden. Für Geschwindigkeiten  $< 8$  kn und Breiten  $|\varphi| \leq 60^\circ$  liegt dieser aber stets unter  $1^\circ$ .

**Meistens ist die Anzeige der Kreiselöchtern bereits um den Fahrtfehler berichtigt!**  
Das ist vor Reisebeginn zu klären.

- Rechtweisende Peilung  $rwP$  zur gepeilten Landmarke mit Uhrzeit in die Seekarte einzeichnen.



**Bild 3:** Peildioptr auf Kreiseltochter

## VA-T02 Peilung mit Magnetkompaß

Alle Schiffe, die unter SOLAS fahren, müssen mit einem **Magnetkompaß** einschließlich einer 360°-Peilvorrichtung ausgerüstet sein. Dabei handelt es sich um Flachglaskompass mit 1°-Teilung. Diese sind außerdem Standard auf Traditionsschiffen und größeren Motorbooten. Die (nicht ausrüstungspflichtigen) Sportboote besitzen meist keine Peilvorrichtung. Stattdessen kommen Handpeilkompass zum Einsatz, was aber voraussetzt, daß diese Yachten/Boote keinen Stahlrumpf haben.

**Vorteil:** Magnetkompass bedürfen keiner Energieversorgung und sind aufgrund ihres einfachen Aufbaus äußerst betriebssicher.

**Nachteil:** Magnetpeilungen sind sehr vom Schiffsmagnetismus, d.h. der Richtigkeit der Deviationstabelle, und eventl. unbeabsichtigten Magneteinflüssen abhängig. Letzteres bedeutet regelmäßige Kompaßkontrollen (siehe Teil C, → **VA-E01/02**)

Der peilende Nautiker darf **nichts Magnetisches an sich haben**. Bekannt ist die Wirkung von Messern, Marlspiekern, Gürtelschnallen, Schlüsseln, Walkmen ... Neuerdings sollte man auch an Mobiltelefone, Ipods (alle Elektronik) und auch Brillen denken!

### Verfahrensanleitung:

- Kompaßhaube abnehmen,
- Testweise den Kopf an den Kompaß annähern. Dabei sollte es keine (über die Gierbewegung hinausgehende) besondere Bewegung der Kompaßrose geben. Eine solche wäre ein Hinweis auf eine magnetische Störung.
- Peildioptr aufsetzen,
- Landmarke anvisieren,
- gleichzeitig die Magnetpeilung MgP am Kompaß ablesen und samt Uhrzeit notieren.
- Magnetpeilung MgP gemäß Umrechnungsschema (siehe S. 7) in rechtweisende Peilung rwP umrechnen. Dazu Ablenkung Abl ( $\equiv$  Dev, Deviation) der Deviationstabelle entnehmen und außerdem die Mißweisung Mw aus der Seekarte.
- Rechtweisende Peilung rwP zur gepeilten Landmarke mit Uhrzeit in die Seekarte einzeichnen.



Bild 4: Magnetkompaß

## VA-T03 Abstand durch Vertikalwinkelmessung

Die vertikale Ausdehnung der einzumessenden Landmarke muß bekannt sein. Faktisch gelingt das nur bei Leuchtuern. Für diese findet man gelegentlich zwei Höhenangaben im Leuchtuerverzeichnis: die **Höhe der Laterne über Kartennull** (*elevation*) und zusätzlich noch die Höhe der Dachspitze über Fundament (*height*), vgl. [9] Abschnitt 11.9. Letzteres ist aber oft nicht einsehbar.

**Vorteil:** Simple Vorgehensweise.

**Nachteil:** Vorsicht in Gebieten mit großem Tidenhub!

### Verfahrensweisung:

- Am Sextanten die Indexbeschiekung feststellen ( $\rightarrow$  VA-A00),
- Vertikalwinkel des Leuchtuers (z.B.  $1^\circ 15,7'$ ) zwischen Strandlinie (Kartennull) und Laterne einmessen und um die Indexbeschiekung (z.B.  $+1,0'$ ) korrigieren ( $\rightarrow 1^\circ 15,7' + 1,0' = 1^\circ 16,7'$ ),
- ggf. ganze Grade in Minuten umrechnen (d.h. aus dem ermittelten Vertikalwinkel  $\alpha = 1^\circ 16,7'$  wird dann  $\alpha = 76,7'$ ).
- Höhe  $H$  zwischen Kartennull und Laterne (= *elevation*) Leuchtuerverzeichnis oder Seekarte entnehmen (z.B.  $H = 95\text{ m}$ ) und gegebenenfalls tidenbedingt korrigieren.
- Den Abstand mit Hilfe der Zahlenwert-Formel (13/7-Formel)

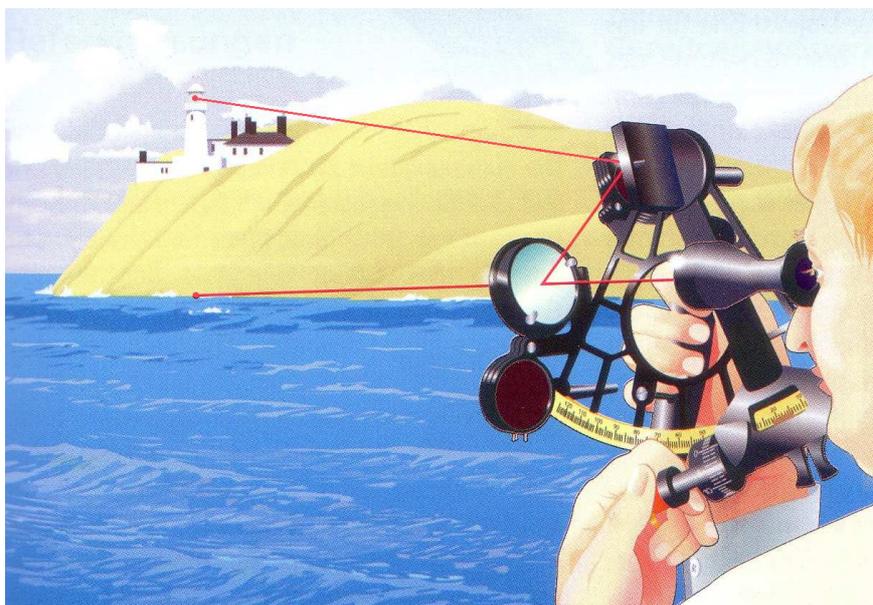
$$\boxed{d/\text{sm} = \frac{13}{7} \frac{H/\text{m}}{\alpha/1'}} \quad (2)$$

berechnen ( $\rightarrow d = 2,3\text{ sm}$ ), Alternativ kann auch **Tafel 11** aus [1] oder **Tafel 10** aus [2] benutzt werden.

- Kreisbogen mit Radius  $d$  um Leuchtuern in der Seekarte schlagen, mit Uhrzeit versehen!
- Für einen absoluten Fehler in der Sextant-Winkelmessung von  $1,0'$  beträgt der relative Fehler des Abstandes

$$\frac{\Delta d}{d} \approx \frac{100\%}{\alpha/1'}, \quad (\rightarrow 1,3\%) .$$

Umgekehrt ergibt sich für die Maximalvorgabe von 5%, keine Vertikalwinkel  $< 20'$  zu verwenden.



**Bild 5:** Vertikalwinkelmessung (nach [12], aber in korrigierter Form)

## VA-T04 Abstand eines „Feuers in der Kimm“

Sehr spezielle Methode! Höhe des Leuchtfeuers (über Kartennull) und Augeshöhe des Beobachters müssen bekannt sein. Die Gelegenheit, ein „Feuer in der Kimm“ zu beobachten, ist eher selten.

**Vorteil:** Keine Instrumente nötig.

**Nachteil:** Man kann die Methode nicht einfach mal anwenden, wenn Bedarf ist. Außerdem eher wenig genau, da der Zustand „Feuer in der Kimm“ wegen Horizontüberblendung oft nicht leicht auszumachen ist.

### Verfahrensanleitung:

- Leuchtfeuer, das im Begriff ist, in die Kimm abzutauchen oder aus ihr aufzugehen (erkennt man vorher am Widerschein), zweifelsfrei identifizieren. Höhe  $H$  (= *elevation*) dem Leuchtfeuerzeichen oder der Seekarte entnehmen (z.B.  $H = 95$  m).
- Moment abpassen, wo das Leuchtfeuer die Kimm passiert. Zeit notieren.
- Aufgrund der Höhe  $H$  des Leuchtfeuers und der Augeshöhe  $Ah$  (z.B.  $Ah = 7$  m) den Abstand zum Leuchtfeuer berechnen nach der Zahlenwert-Formel

$$\boxed{d/\text{sm} = 2,075 \left( \sqrt{Ah/m} + \sqrt{H/m} \right)}, \quad (\rightarrow d = 25,7 \text{ sm}). \quad (3)$$

Alternativ kann auch **Tafel 10** aus [1] oder **Tafel 9** aus [2] benutzt werden.

- Kreisbogen mit Radius  $d$  um Leuchtfeuer in der Seekarte schlagen, mit Uhrzeit versehen!

## VA-T05 „Abstand“ aufgrund von Horizontalwinkel

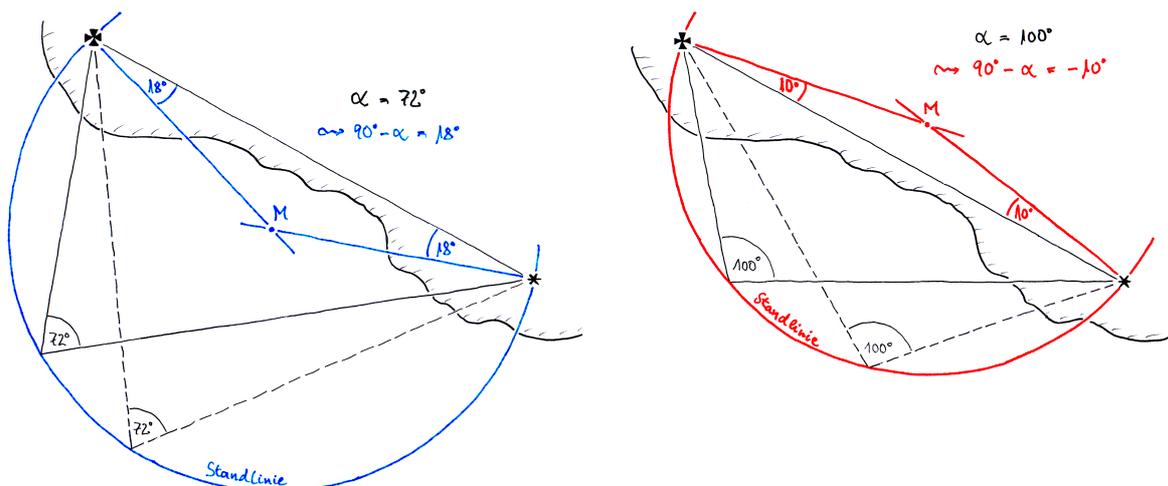
Der Horizontalwinkel zwischen zwei Landmarken wird mit Hilfe eines Sextanten gemessen. Daraus läßt sich eine kreisförmige Standlinie ermitteln, die man als „Abstand“ zu einem konstruierten Mittelpunkt M auffassen kann.

**Vorteil:** Recht genaue Standlinie, da keine Kompaßfehler auftreten.

**Nachteil:** Zeichnerische Konstruktion in der Seekarte anspruchsvoller als bei anderen Standlinien.

### Verfahrensanleitung:

- Mit Sextant den Horizontalwinkel  $\alpha$  zwischen zwei Landmarken ermitteln.
- In der Seekarte über die beiden Landmarken eine Verbindungsgerade zeichnen.
- Den Komplementärwinkel  $90^\circ - \alpha$  bilden und für ...
- $90^\circ - \alpha > 0$  (oder  $\alpha < 90^\circ$ , **spitzer Winkel**) diesen Komplementärwinkel an die Verbindungsgerade in beiden Landmarken anbringen mit **Orientierung zum Schiff hin**.
- $90^\circ - \alpha < 0$  (oder  $\alpha > 90^\circ$ , **stumpfer Winkel**) den Komplementärwinkel an die Verbindungsgerade in beiden Landmarken anbringen mit **Orientierung vom Schiff weg**.
- Schnittpunkt ist Kreismittelpunkt M.
- Zirkel in M einstecken und an einer der beiden Landmarken Maß nehmen,
- Bogen schlagen über beide Landmarken hinweg. Dieser Kreisbogen ist die Standlinie, mit Uhrzeit versehen!



**Bild 6:** Standlinie aufgrund von Horizontalwinkel  $\alpha$  zwischen zwei Landmarken mit  $\alpha < 90^\circ$  (Bildteil links) und  $\alpha > 90^\circ$  (Bildteil rechts)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Der Grenzfall  $\alpha = 90^\circ$  führt zum Satz des THALES.

# VA-T06 Ort aufgrund von Peilung und Abstand

Dieses Verfahren entspricht dem „Anhängen“ der ebenen Geodäsie. Benötigt wird die gleichzeitige Peilung und Abstandsbestimmung zu derselben Landmarke.

**Vorteil:** Nur eine Landmarke erforderlich, perfekter Schnittwinkel ( $= 90^\circ$ ) zwischen den Standlinien

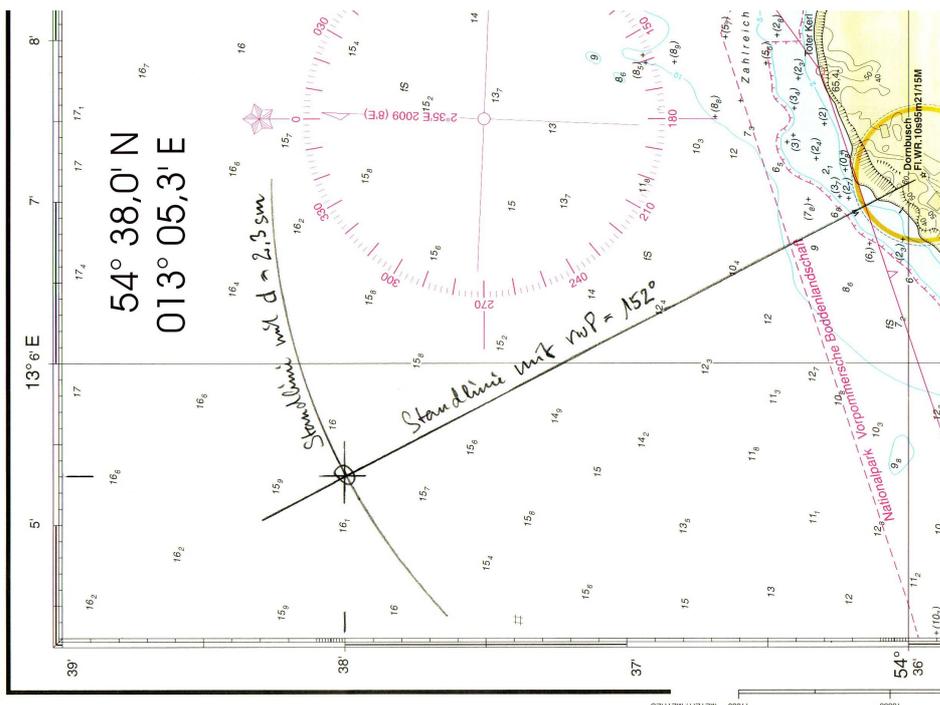
**Nachteil:** Bei Abständen nach  $\rightarrow$  VA-T03 sind in der Praxis nur Leuchfeuer möglich, da Gebäude mit bekannter Höhe in der Seekarte selten verzeichnet sind.

**Verfahrensanleitung/Taschenrechner:** (alle Eingaben jeweils mit EXE bestätigen!)

- Koordinaten der Landmarke dem Leuchfeuerverzeichnis oder der Seekarte entnehmen (z.B. für **LF Dornbusch (C2588)** mit  $54^\circ 35,95' \text{ N } 013^\circ 07,17' \text{ E}$ ),
- Taschenrechnerprogramm **5-Ziel** (Großkreis) **oder 8-VBZiel** (Vergrößerte Breite) aufrufen,
- Koordinaten der Landmarke als Punkt 1 eingeben (Rechner:  $\varphi_1 = 54.3595$ ,  $\lambda_1 = 13.0717$ ).
- Rechtweisende Peilung (z.B.  $rwP = 152^\circ$ ) als **Gegenrichtung**  $\alpha_1 = rwP \pm 180^\circ$  eingeben! (Rechner:  $\alpha_1 = 332$ ).
- Abstand (z.B.  $d = 2,3 \text{ sm}$ ) eingeben (Rechner:  $d = 2.3$ ).
- Ergebnis als Punkt 2 zur Kenntnis nehmen (Rechner:  $\varphi_2 = 54.380$ ,  $\lambda_2 = 13.053$ ).
- **Wahren Ort**  $O_w$  (hier mit  $\varphi = 54^\circ 38,0' \text{ N } \lambda = 013^\circ 05,3' \text{ E}$ ) in die Seekarte einzeichnen und einkreisen. Mit Uhrzeit versehen!

**Verfahrensanleitung/Seekarte:**

- Rechtweisende Peilung  $rwP$  ( $\rightarrow$  VA-T01/02) in der Seekarte an die gepeilte Landmarke anbringen,
- mit Zirkel in der Seekarte Kreisbogen mit Radius  $d$  ( $\rightarrow$  VA-T03/04) um eingemessenes Leuchfeuer schlagen.
- Schnittpunkt ist **wahrer Ort**  $O_w$  (einkreisen!), mit Uhrzeit versehen!



**Bild 7:** Ort aufgrund von Peilung und Abstand

## VA-T07 Ort aufgrund von Kreuzpeilung

Dieses Verfahren entspricht dem „Vorwärtseinschneiden“ der ebenen Geodäsie. Dazu werden zwei gleichzeitige Peilungen an zwei verschiedenen Landmarken durchgeführt. Vorteilhaft ist es, möglichst nahe Landmarken zu verwenden.

**Vorteil:** Sehr einfache Lösung auf der Seekarte.

**Nachteil:** Es sind zwei Landmarken in nicht zu großer Entfernung erforderlich, was mitunter nicht gegeben ist.

**Verfahrensanleitung:**

- Erste rechtweisende Peilung  $rwP_1$  erstellen ( $\rightarrow$  VA-T01/02) und in der Seekarte an die zugehörige(!) Landmarke anbringen,
- Zweite rechtweisende Peilung  $rwP_2$  erstellen ( $\rightarrow$  VA-T01/02) und in der Seekarte an die zugehörige Landmarke anbringen.
- Prüfen, ob sich die Standlinien nicht zu spitz schneiden.
- Schnittpunkt ist **wahrer Ort**  $O_w$  (einkreisen!), mit Uhrzeit versehen!

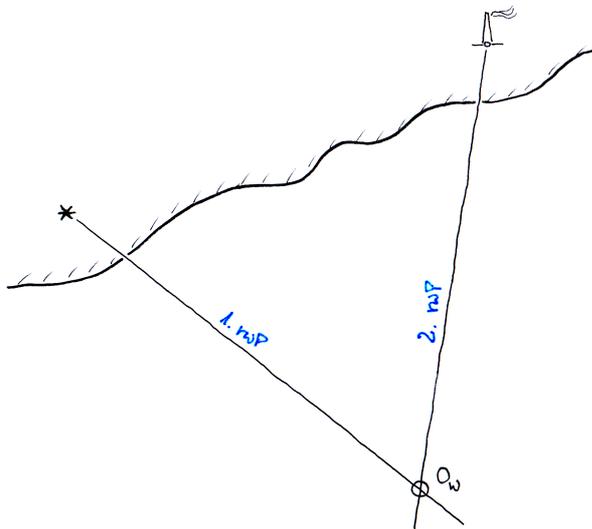


Bild 8: Ort aufgrund von Kreuzpeilung

## VA-T07a Ort aufgr. Peilung und Horizontalwinkel

Praktisch dasselbe wie VA-T07 für den Fall, daß eine Landmarke wegen Aufbauten, Segel etc. nicht direkt gepeilt werden kann. Dann läßt sich der Horizontalwinkel zwischen den Landmarken an einem geringfügig veränderten Ort an Deck mittels Sextant feststellen. Anbringung des Horizontalwinkels an die erste Peilung ( $\pm$  Horizontalwinkel) liefert die zweite.

## VA-T07b Ort aufgr. Peilung und Horizontalwinkel

Kombination einer Standlinie nach  $\rightarrow$  VA-T01/02 (Peilung) und  $\rightarrow$  VA-T05 („Abstand“ aufgrund von Horizontalwinkel).

**Vorteil:** Genauer als Kreuzpeilung.

**Nachteil:** Etwas anspruchsvollere Konstruktion auf der Seekarte.

## VA-T08 Ort aufgrund von Doppelpeilung

Dieses Verfahren ist eine Variante der Kreuzpeilung für den Fall, daß nur eine Landmarke zur Verfügung steht. Diese wird zweimal gepeilt zu deutlich verschiedenen Zeiten. Die erste Peilung wird auf den Zeitpunkt der zweiten Peilung versegelt (*running fix*).

**Vorteil:** Nur eine Landmarke erforderlich.

**Nachteil:** Eine Standlinie muß versegelt werden, was zusätzliche Fehlereinflüsse bedeutet.

### Verfahrensanleitung:

- Eine rechtweisende Peilung  $rwP_1$  ( $\rightarrow$  VA-T01/02) ermitteln, in der Seekarte an die Landmarke anbringen und mit Uhrzeit versehen. Das ist die erste Standlinie.
- Weitere rechtweisende Peilung  $rwP_2$  zu derselben Landmarke, aber zu einem deutlich späteren Zeitpunkt ermitteln ( $\rightarrow$  VA-T01/02), in die Seekarte einzeichnen und mit Uhrzeit versehen. Das ist die zweite Standlinie.
- Erste Standlinie mit Hilfe von *Kurs über Grund* KüG und *Distanz über Grund* DüG auf Zeitpunkt der zweiten Standlinie versegeln.
- Prüfen, ob sich die so erhaltenen Standlinien nicht zu spitz schneiden.
- Schnittpunkt von zweiter Standlinie und versegelter erster Standlinie ist **wahrer Ort**  $O_w$  (einzeichnen!), wenn auch mit gewissen Genauigkeitseinbußen. Mit Uhrzeit versehen!

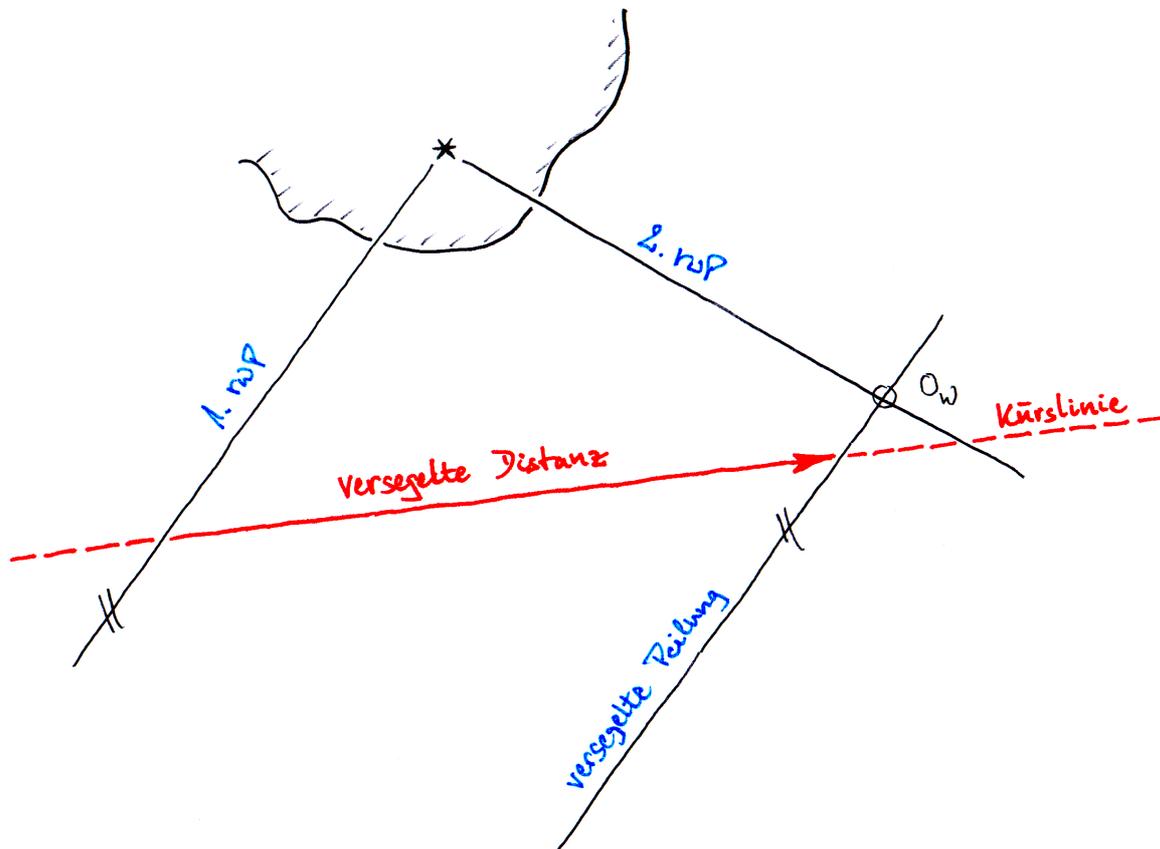


Bild 9: Ort aufgrund von Doppelpeilung

## VA-T09 Ort aufgrund von Doppelwinkelmessung

Dieses Verfahren entspricht dem „Rückwärtseinschneiden“ der ebenen Geodäsie. Dabei werden zwei Horizontalwinkel zwischen drei verschiedenen Landmarken mittels Sextant gleichzeitig eingemessen. Ersatzweise kann man für die drei Landmarken auch rechtweisende Peilungen ermitteln ( $\rightarrow$  VA-T01/02) und anschließend Differenzen bilden. Das ist jedoch mit einem merklichen Verlust an Genauigkeit verbunden.

Das **Verfahren versagt**, wenn alle vier beteiligten Punkte (3 Landmarken + Schiffsort) **auf demselben Kreis** liegen, denn dann existieren unendlich viele Lösungen. Wesentliche Genauigkeitsverluste drohen auch schon, wenn diese Situation näherungsweise vorliegt. In beiden Fällen kann man zusätzlich eine der drei Landmarken rechtweisend peilen, um Eindeutigkeit herzustellen.

Das Einrechnen der Indexbeschiebung am Sextanten in der üblichen Größenordnung ( $< 3'$ ) ist nicht nötig, da die Genauigkeit der zeichnerischen Auswertung bestenfalls bei  $0,2^\circ (= 12')$  liegt.

**Vorteil:** Sehr genau, im Standardfall (Sextant) keine Abhängigkeit von Kompaßfehlern.

**Nachteil:** Es sind drei Landmarken erforderlich, was an öden Küstenlinien eher selten der Fall ist.

### Verfahrensanleitung/Methode 1:

- Horizontalwinkel  $\alpha$  zwischen linker und mittlerer Landmarke messen,
- Horizontalwinkel  $\beta$  zwischen mittlerer und rechter Landmarke messen.
- Auf Pergamentpapier (oder Folie) zeichne man die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  so, wie sie in der Realität angeordnet sind. Pergamentpapier auf der Seekarte so lange verschieben, bis die drei Schenkel durch die zugehörigen Landmarken verlaufen. Im Versagensfalle (alle 4 Punkte auf einem Kreis) ist das in beliebiger Weise möglich, so daß kein eindeutiger Ort folgt.
- Ist ein Doppelwinkeltransporteur (*Three Arm Protractor*) vorhanden, die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  (in der richtigen Reihenfolge!) am Transporteur einstellen. Somit erübrigt sich der Einsatz von Pergamentpapier. Die weitere Vorgehensweise ist dieselbe. Siehe hierzu Bild 10.
- Im Schnittpunkt der Schenkel Zirkel ansetzen und wahren Ort auf die Seekarte durchdrücken (anschl. einkreisen!), mit Uhrzeit versehen!

### Verfahrensanleitung/Methode 2: (doppelte Anwendung von $\rightarrow$ VA-T05)

- Horizontalwinkel  $\alpha$  zwischen linker Landmarke A und mittlerer Landmarke B messen,
- Horizontalwinkel  $\beta$  zwischen mittlerer Landmarke B und rechter Landmarke C messen,
- Die Winkel  $90^\circ - \alpha$  und  $90^\circ - \beta$  errechnen und in der in Bild 11 gezeigten Weise an die Strecken  $\overline{AB}$  und  $\overline{BC}$  zwischen den Landmarken antragen. Bei positiven Werten zum Schiffsort hin, bei negativen vom Schiffsort weg orientieren!
- In den Schnittpunkten  $M_\alpha$  und  $M_\beta$  jeweils Kreisbögen antragen, die die zugehörigen Landmarken enthalten. Der oben genannte Versagensfall tritt ein, wenn  $M_\alpha$  und  $M_\beta$  identisch sind.
- **Wenn  $M_\alpha$  und  $M_\beta$  sehr dicht beieinander liegen, dann ist das ein untrügliches Kennzeichen dafür, daß hier näherungsweise der Versagensfall vorliegt! Die Genauigkeit ist dann bereits erheblich reduziert.**
- Schnittpunkt der Kreisbögen ist **wahrer Ort**  $O_w$  (einkreisen!), mit Uhrzeit versehen!

(Fortsetzung nächste Seite)

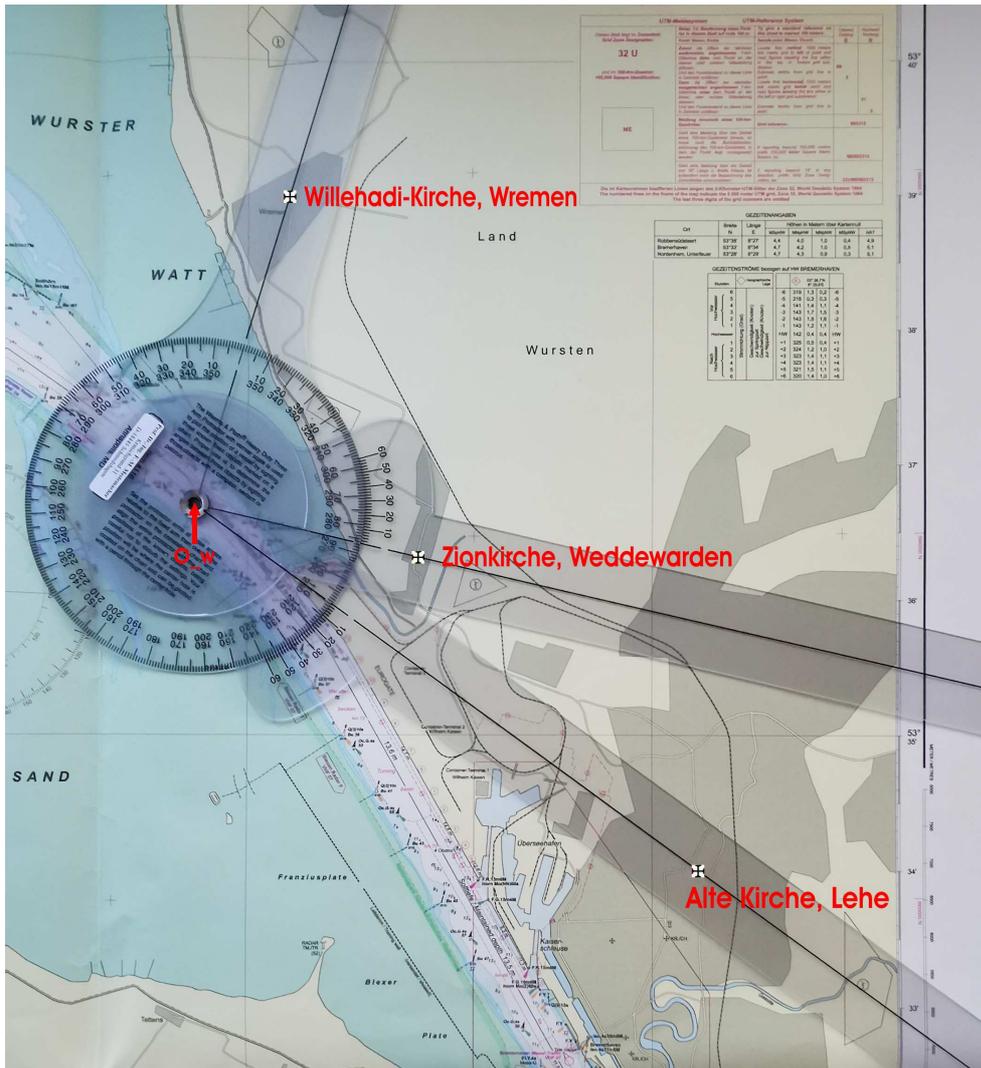


Bild 10: Einsatz des Doppelwinkeltransporteurs

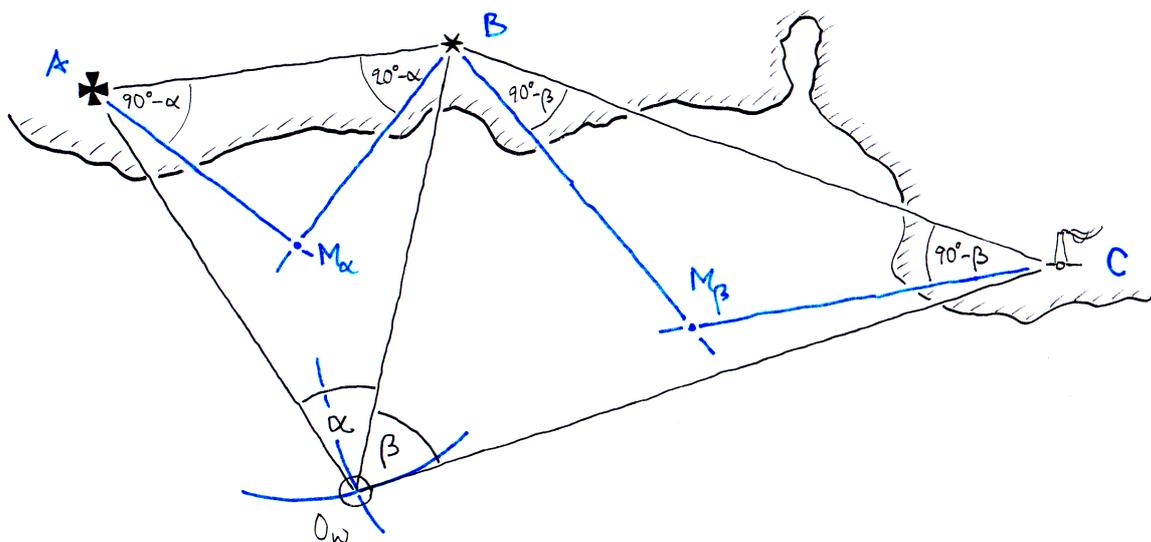


Bild 11: Ort aufgrund von Doppelwinkelmessung

## VA-T10 Ort aufgrund von zwei Abständen

Dieses Verfahren entspricht dem „Bogenschluss“ der ebenen Geodäsie. Dabei werden zwei gleichzeitige Entfernungsmessungen zu zwei verschiedenen Landmarken mittels Sextant durchgeführt (→ **VA-T03**). Auch Radarentfernungen zu zweifelsfrei dargestellten Landmarken können verwendet werden, sofern verfügbar.

**Vorteil:** Sehr einfache Lösung auf der Seekarte.

**Nachteil:** Im Standardfall sind zwei nicht zu weit entfernte Landmarken mit bekannter Höhe (Leuchfeuer) erforderlich, deren Abstandsbestimmung zum Schiffsort durchzuführen ist. Die Gelegenheit hat man leider nicht immer.

### Verfahrensanleitung:

- Für zwei Landmarken mit bekannter Höhe (Leuchfeuer) die Höhenwinkel ermitteln.
- Abstände zu diesen nach (2) ausrechnen **oder** Tafel entnehmen (→ **VA-T03**).
- Mit den errechneten Abständen in der Seekarte Standlinien in Form von Kreisbögen um die jeweilige Landmarke schlagen.
- Schnittpunkt ist **wahrer Ort**  $O_w$  (einkreisen!), mit Uhrzeit versehen!

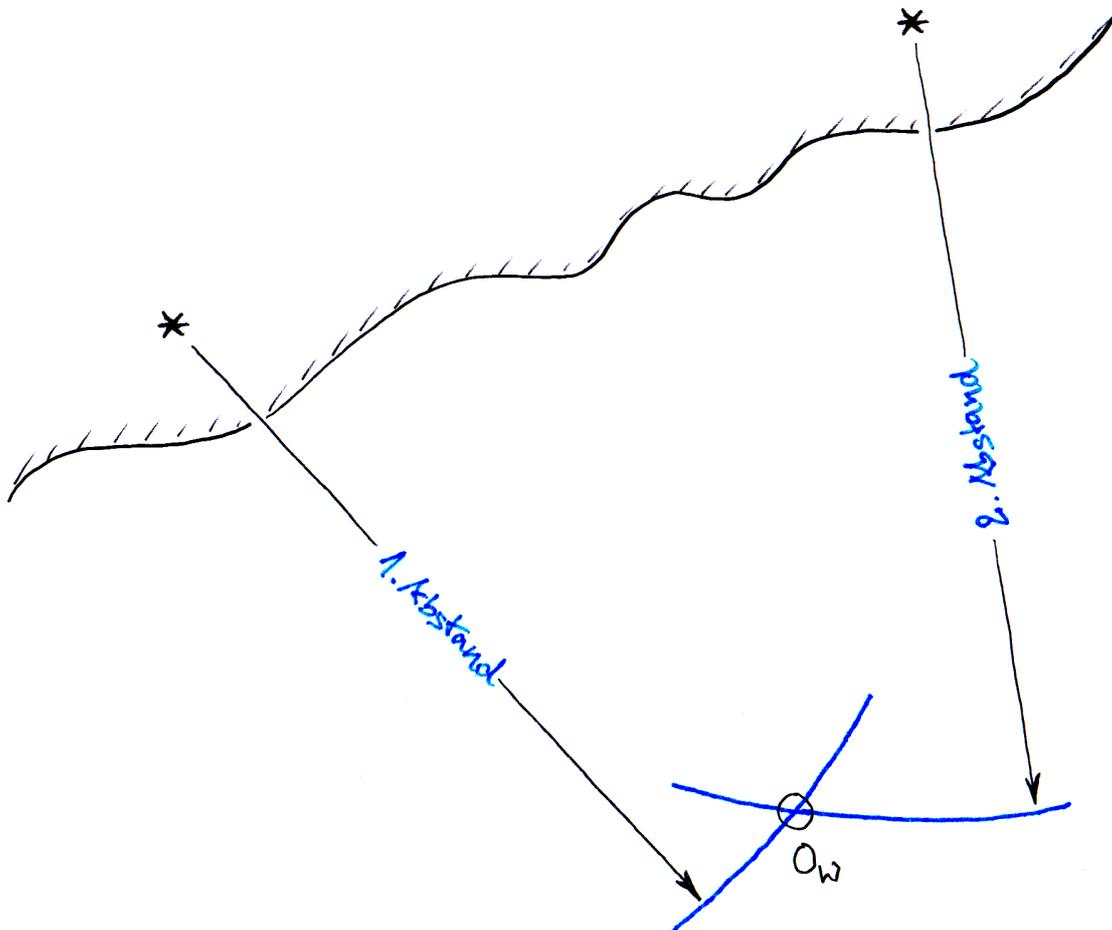


Bild 12: Ort aufgrund von zwei Abstandsmessungen

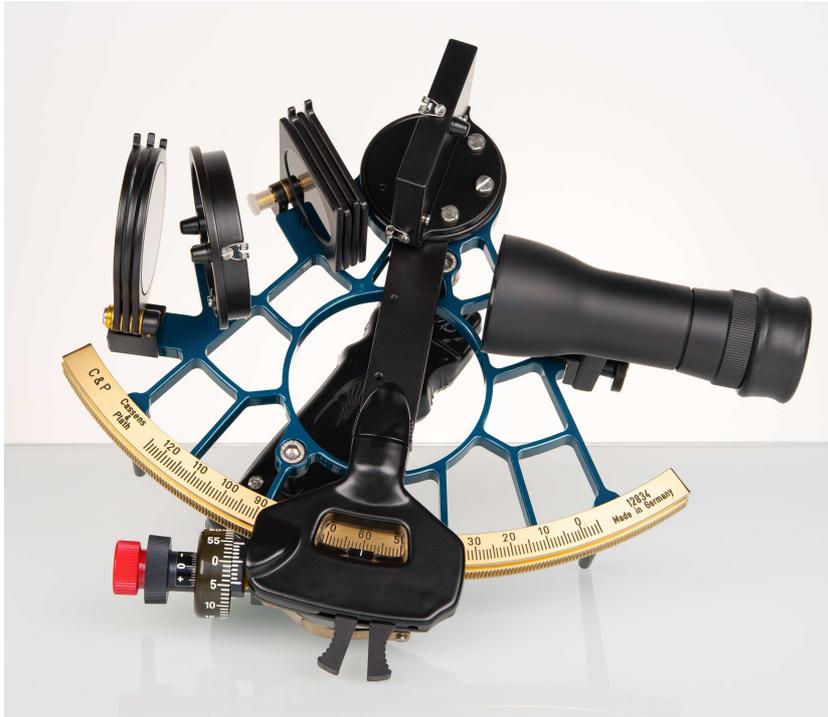
---

**Formel zur Mittagsbreite (Meridianbreite)**

$$\varphi_b = \pm(90^\circ - h_o) + \delta \quad \left\{ \begin{array}{l} + \text{ für } \varphi_b > \delta \text{ (südl. Meridiandurchgang),} \\ - \text{ für } \varphi_b < \delta \text{ (nördl. Meridiandurchgang)} \end{array} \right.$$

Hierbei ist  $\varphi_b$  die (**b**eobachtete) Mittagsbreite und  $h_o$  die Höhe der Sonne in der **o**beren Kulmination. In letzterer muß natürlich zuvor die Beschickungsrechnung nach  $\rightarrow$  **VA-A02** eingearbeitet werden! Alternativ kann man auch **VA-A06/07** mit  $t = 0$  anwenden.

# Teil B — Astronomische Navigation



## Grundlagen

In der **Astronomischen Navigation** werden astronomische Objekte (Gestirne) durch Höhenmessung zur Ermittlung des Schiffsortes verwendet. Dies setzt voraus, daß sowohl Gestirn als auch Kimm klar zu erkennen sind. Die diesbezüglichen Verfahren sind für die hohe See vorgesehen.

Das primitive Verfahren der **Meridian-** oder **Mittagsbreite** (Sonne) hatte seine Berechtigung einstmals in der einfachen arithmetischen Berechenbarkeit ohne Winkelfunktionen. Seitdem es Taschenrechner (oder besseres) gibt, ist dieser Vorteil ohne Belang. Ansonsten hat das Verfahren nur Nachteile, als da wären:

- Nur die Breite des Schiffsortes ist bestimmbar.
- Das Verfahren ist leider nur einmal am Tag zu einer bestimmten Zeit (Ortsmittag) anwendbar. Dann darf die Sonne nicht durch Wolken verdeckt sein.
- Auch bei Vorausberechnung des Kulminationszeitpunktes ist minutenlanges Abpassen desselben erforderlich, was körperlich eher anstrengend ist.
- In den Tropen bei  $\varphi \approx \delta$  ist das Verfahren nicht anwendbar, da sich schwer meßbare Kulminationshöhen dicht unter  $90^\circ$  ergeben, die zudem kaum abzupassen sind.

Wer es dennoch anwenden will, der sei auf die Formel auf der vorherigen Seite (S. 18, unten) und auf [7], Abschnitt 4.2 verwiesen.

Weitaus besser ist das allgemeine **Höhenverfahren** nach Adm. BLOND DE MARCO ST. HILAIRE, für das es eine Reihe von Auswerteverfahren gibt. Es läßt sich zudem immer anwenden, wenn ein Gestirn sicher beobachtbar ist.

**Der Sextant darf ausschließlich am Handgriff oder den Sprossen des Instrumentenkörpers gehalten werden! Niemals am Fernrohr oder den Spiegeln!**

Ansonsten dürfen nur die Bedienelemente wie Trommel, Ausrückhebel sowie die Stifte an den Schattengläsern berührt werden. **Sextant nach Gebrauch zurück in den Kasten!**

## VA-A00 Sextant – Spiegeljustierung

Entgegen einer weit verbreiteten Ansicht werden hier keine Spiegelfehler behoben, sondern lediglich die Stellung der Spiegel justiert. In der Praxis redet man aber von Kippfehlern. Bei geringfügig verstellten Spiegeln, verzichte man auf diese Maßnahme, da bei häufigem Justieren die Stellschrauben ausleiern (vgl. [7], Anhang D)!

### Verfahrensanweisung zur Beseitigung des Kippfehlers am Indexspiegel (Großer Spiegel):

- Alhidade auf  $\approx 50^\circ$  stellen.
- Von Seiten des Indexspiegels auf den Gradbogen schauen, wie in Bild 13 gezeigt.
- Den direkt gesehenen Gradbogen mit dem gespiegelten dahingehend vergleichen, daß beide eine durchgehende Linie ausmachen (in Bild 13 ist das der Fall). Es darf also keinen Stufensprung geben.
- Anderenfalls durch Drehen der (einzigen) **Stellschraube** auf der Rückseite des Indexspiegels denselben justieren, so daß der Gradbogen nun als durchgehende Linie erscheint wie in Bild 13.

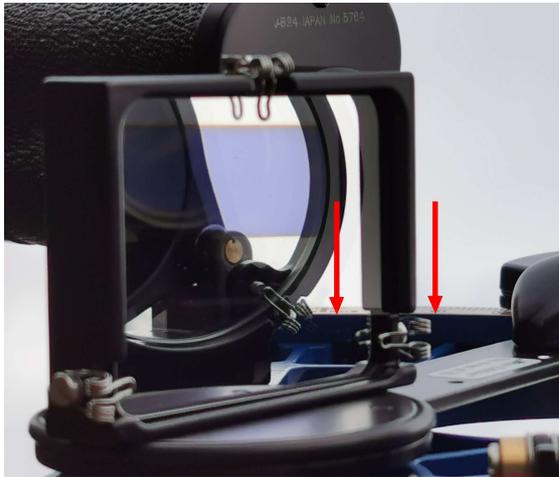


Bild 13: Kein Kippfehler am Indexspiegel

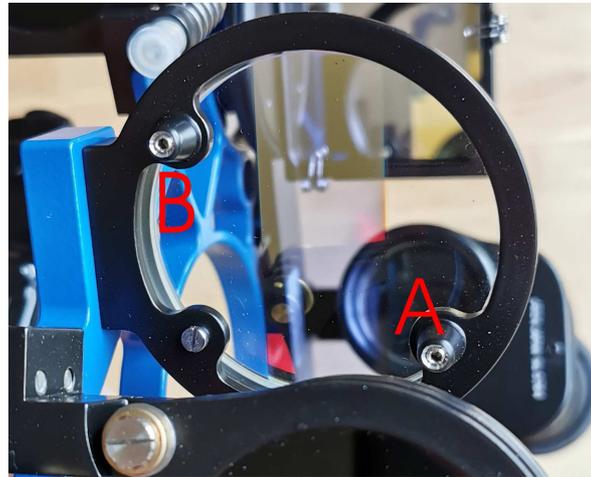


Bild 14: Stellschrauben A und B am Horizontspiegel

Die Justierung des Horizontspiegels (Kleiner Spiegel) erfolgt nun durch Parallelausrichtung zum Indexspiegel. Dazu den **Horizontspiegel mit Stellschraube A justieren (vom Instrumentenkörper am weitesten entfernt)** (siehe Bild 14). Es gibt drei Verfahrensanweisungen dazu:

### Verfahrensanweisung 1 zur Beseitigung des Kippfehlers am Horizontspiegel:

- Diese Verfahrensanweisung ist für **tagüber/auf See**. Gute Sicht auf die **Kimm** ist Voraussetzung.
- Alle Schattengläser ausschwenken und Sextant auf gestochen scharfe Kimm richten (Gegenrichtung zur Sonne).
- In senkrechter Haltung des Sextanten durch Drehen der Trommel die optische Nullposition der Alhidade einstellen. Originale und gespiegelte Kimm bilden nun eine durchgehende Linie.
- Sextant um die untere optische Achse schwenken. Bei korrekter Spiegelstellung ändert sich im Bild gar nichts. Bei dejustiertem Horizontspiegel erscheint nun ein Stufensprung zwischen originaler und gespiegelter Kimm.
- Im Bedarfsfalle durch Drehen von **Stellschraube A** den Horizontspiegel justieren, so daß beim Schwenken kein Stufensprung mehr auftritt.

### Verfahrensweisung 2 zur Beseitigung des Kippfehlers am Horizontspiegel:

- Diese Verfahrensweisung wird **an Land/im Hafen** angewendet. Ein **vertikales Objekt** (Laternenmast, Schornstein, Häuserkante, ...) in nicht zu geringer Entfernung ist Voraussetzung.
- Alle Schattengläser ausschwenken und Sextant auf vertikales Objekt richten – vorzugsweise etwas abseits der optischen Nullposition. Bei dejustiertem Horizontspiegel doppelndas originale und das gespiegelte Bild unter seitlichem Versatz (siehe Bild 15).
- Bei korrekter Stellung des Horizontspiegels liegen beide Bilder auf einer senkrechten Linie (Koinzidenzlinie, siehe Bild 16)! Bei Drehung der Trommel erscheinen nun auch beide Bilder völlig deckungsgleich, wenn die optische Nullposition erreicht wird.
- Im Bedarfsfalle durch Drehen von **Stellschraube A** (siehe Bild 14) den Horizontspiegel justieren, so daß das senkrechte Objekt mit beiden Bildern auf einer Koinzidenzlinie liegt.

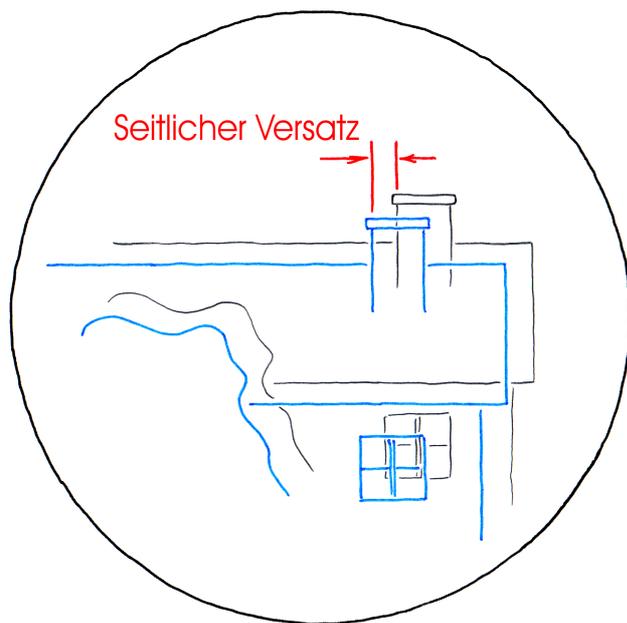


Bild 15: Kippfehler am Horizontspiegel



Bild 16: Auf Linie, kein Kippfehler

### Verfahrensweisung 3 zur Beseitigung des Kippfehlers am Horizontspiegel:

- Diese Verfahrensweisung wird **nachts** angewendet. Ein gut sichtbarer, aber nicht zu lichtstarker **Fixstern** ist Voraussetzung.
- Alle Schattengläser ausschwenken, Sextant auf **0° 00,0'** stellen und Fixstern anvisieren.
- Durch Drehen der Trommelschraube um die Nullstellung herum prüfen, ob das gespiegelte Bild des Sterns durch das originale hindurchläuft, oder ob es seitlichen Versatz gibt. In letzterem Fall ist der Horizontspiegel dejustiert.
- Bei korrekter Stellung des Horizontspiegels schafft man es, den Stern mit sich selber zur Deckung zu bringen. Dieser Zustand liefert auch sogleich den Indexfehler (→ **VA-A01**).
- Im Bedarfsfalle durch Drehen von **Stellschraube A** den Horizontspiegel justieren, so daß das gespiegelte Bild ohne seitlichen Versatz durch das originale hindurchläuft (Koinzidenzlinie).

Die Dejustierung der Spiegel kann neben den zuvor behandelten Kippfehlern noch in einem zu hohen Indexfehler am Horizontspiegel vorliegen ( $\rightarrow$  VA-A01). Dieser läßt sich mit **Stellschraube B**, die **am dichtesten am Instrumentenkörper dran ist** (siehe Bild 14), beseitigen bzw. reduzieren. In der Praxis wird man dies tun, wenn der Indexfehler den Betrag von etwa 3' überschreitet. Darunter lohnt es nicht.

#### Verfahrensweisung zur Justierung des Indexfehlers:

- Indexfehler ( $\rightarrow$  VA-A01) feststellen und Entscheidung treffen, ob Indexjustierung sinnvoll.
- Alhidade auf  $0^\circ 00,0'$  stellen (numerische Nullposition).
- Wie bei Kontrolle des Horizontspiegel in *Verfahrensweisung 1* (tagsüber/auf See) den Sextanten in senkrechter Haltung und bei ausgeschwenkten Schattengläsern auf die **Kimm** richten. Durch Drehen der **Stellschraube B** die optische Nullposition einstellen. Die originale und die gespiegelte Kimm bilden nun ein durchgehende Linie.  
oder
- Wie bei Kontrolle des Horizontspiegel in *Verfahrensweisung 2* (Land/Hafen) den Sextanten auf ein Bauwerk richten (Entfernung möglichst  $> 1$  sm), aber nun mit **horizontaler Kante**. Weitere Vorgehensweise wie zuvor bei der Kimm.  
oder
- Wie bei Kontrolle des Horizontspiegel in *Verfahrensweisung 3* (nachts) Sextant auf einen nicht zu lichtstarken **Fixstern** richten und durch Drehen der **Stellschraube B** mit sich selbst zur Deckung bringen. Bei Vorliegen eines kleinen Kippfehlers am Horizontspiegel sollten das originale und das gespiegelte Bild des Sterns mit geringstmöglichem Abstand nebeneinander liegen.
- Anschließend erneut Kippfehler am Horizontspiegel prüfen.

Bei den neueren Sextanten von CASSENS & PLATH ist die **3-Punkt-Auflage** des Horizontspiegels **orthogonal** angeordnet. Damit lassen sich Kipp- und Indexfehler unabhängig voneinander justieren. Bei allen anderen/älteren Modellen verstellt man mit der Justierung des Indexfehlers auch gleichzeitig den des Kippfehlers und umgekehrt. Dann muß man iterativ/wechselseitig vorgehen, bis die Justierung paßt, was natürlich sehr viel mühsamer ist.

## VA-A01 Sextant – Ablesung/Indexbeschickung

### Ablesung und mögliche Ablesefehler

Hier sei daran hier erinnert, daß auf dem Gradbogen von Sextanten die Werte nach links größer werden. Das ist bei „normalen“ Meßgeräten anders. Die **Ablesung** erfolgt, wie nachfolgend dargestellt.

#### Verfahrensanleitung:

- Es beginnt damit, daß man zuerst auf dem Gradbogen des Sextanten die vollen Grade rechts vom Indexstrich abliest. (Das ist die kleinere Gradzahl von den beiden, die den Indexstrich einrahmen).
- Danach werden auf der Trommel die Minuten abgelesen samt Zehntel (Nonius).
- Wer mit der Nonius-Ablesung nicht vertraut ist, kann die Zehntelminuten auch schätzen.

**Aber Achtung!** Für Minutenwerte dicht unter 60' passiert oft der „beliebte“ Fehler, daß der dem Indexstrich sehr dicht liegende Gradstrich identifiziert wird, und dann kommen noch mal hohe Minutenwerte hinzu. **Am Ende ist die Sextantablesung um 1° zu hoch!**

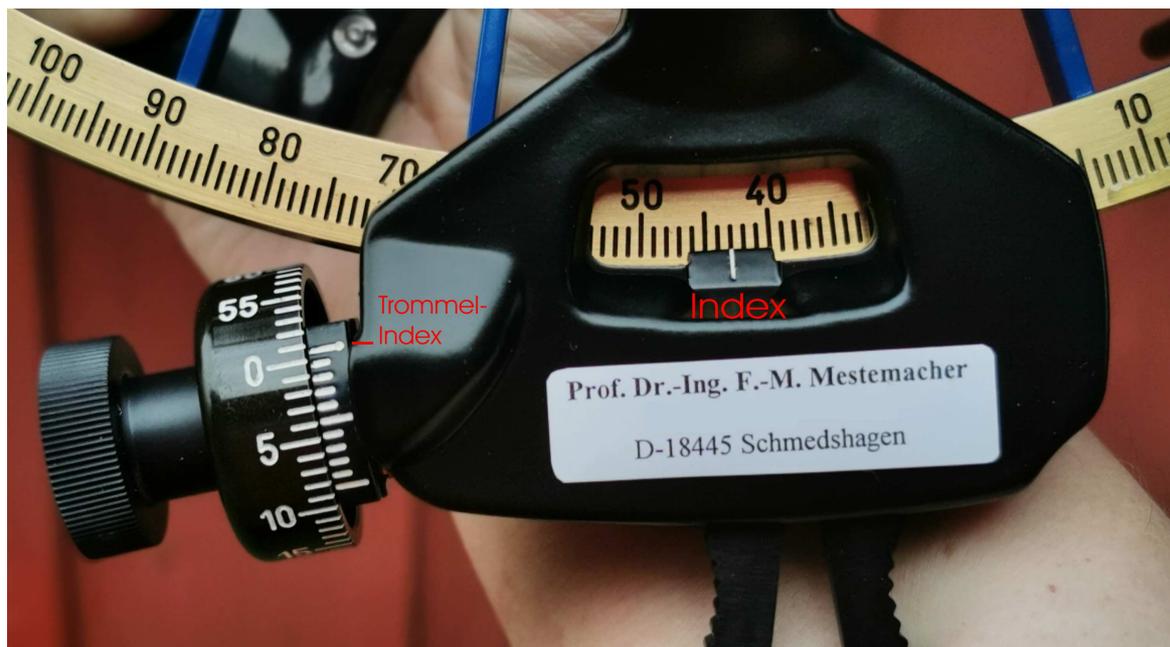
Ein **Beispiel** soll das verdeutlichen: In Bild 17 liegt der Indexstrich scheinbar auf vollen 43°. Das bedeutet natürlich, der gemessene Winkel liegt bei  $\approx 43^\circ$ . Die Trommelablesung liefert nun nochmal 59,4'. Addiert man diese Werte gedankenlos zusammen, so bekommt man

Sextantwinkel =  $43^\circ + 59,4' \approx 44^\circ$ . **Das ist falsch!**

Richtig ist natürlich

Sextantwinkel =  $42^\circ + 59,4' \approx 43^\circ$ ,

da der Teilstrich 43° eben doch links vom Indexstrich liegt, wenn auch nur um kaum sichtbare 0,6'. Somit ist 42° der maßgebliche Teilstrich rechts vom Indexstrich (siehe Verfahrensanleitung)!



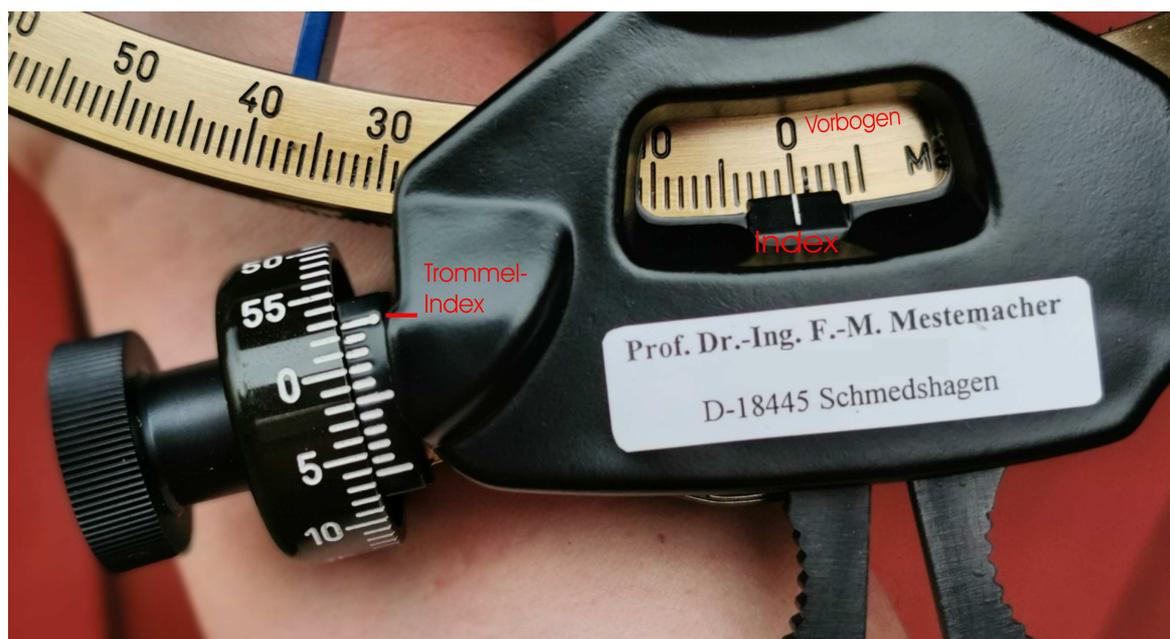
**Bild 17:** Vorsicht bei Minutenwerten dicht unter 60'!

## Indexfehler und Indexbeschickung

Grundsätzlich zeigen Meßgeräte in Nullstellung nicht den Nullwert an. Selbst wenn dieser Zustand einmal hergestellt wurde, verschwindet er wieder infolge der unvermeidlichen Nullpunktsdrift. Sextanten machen da keine Ausnahme. Hier geht es zunächst darum, den **Indexfehler** eines Sextanten festzustellen.

### Verfahrensanweisung:

- Wie bei Kontrolle des Horizontspiegel in *Verfahrensanweisung 1* aus VA-A00 (tagsüber/auf See) den Sextanten in senkrechter Haltung und bei ausgeschwenkten Schattengläsern auf die **Kimm** richten. Durch Drehen der Trommel optische Nullposition einstellen. Die originale und die gespiegelte Kimm bilden nun ein durchgehende Linie.  
oder
- Wie bei Kontrolle des Horizontspiegel in *Verfahrensanweisung 2* aus VA-A00 (Land/Hafen) den Sextanten auf ein Bauwerk richten (Entfernung möglichst > 1 sm), aber nun mit **horizontaler Kante**. Weitere Vorgehensweise wie zuvor bei der Kimm.  
oder
- Wie bei Kontrolle des Horizontspiegel in *Verfahrensanweisung 3* aus VA-A00 (nachts) einen nicht zu lichtstarken **Fixstern** mit sich selbst zur Deckung bringen. Bei Vorliegen eines kleinen Kippfehlers am Horizontspiegel sollten das originale und das gespiegelte Bild des Sterns mit geringstmöglichem Abstand nebeneinander liegen.
- Nun an der Trommel den Minutenwert (vorzeichenrichtig!) ablesen. Das ist der Indexfehler.



**Bild 18:** Indexfehler auf dem Vorbogen erfordert invertierte Ablesung (hier:  $-(60' - 57,3') = -2,7'$ )

In der Praxis geht es aber vor allem um die **Indexbeschickung**  $lb$  (auch: Indexberichtung). Diese besitzt denselben Betrag wie der Indexfehler, jedoch das umgekehrte Vorzeichen, d.h.

$$lb = - \text{Indexfehler} . \quad (4)$$

Bei Höhenmessung von Gestirnen folgt daher für den **Kimmabstand** ( $\angle$  Gestirn über Kimm)

$$KA = \text{Sextantablesung} + lb . \quad (\text{algebraisch addieren!}) \quad (5)$$

Bei Messung von Horizontalwinkeln gilt diese Beschickungs-Gleichung zum Erhalt des tatsächlichen Meßwertes analog, auch wenn das Ergebnis nicht als „Kimmabstand“ bezeichnet wird. Es handelt sich dann eben um den (nullpunktsfehlerbereinigten) gemessenen Winkel.

## VA-A02 Gestirne und Beschickungsrechnung

Nach Anbringung der Indexbeschickung an die Sextantablesung liegt zunächst der Kimmabstand vor. Das ist – abgesehen von zufälligen Fehlern – der korrekte Höhenwinkel. Benötigt wird aber die beobachtete Höhe des Gestirnmittelpunktes über dem wahren Horizont, also gewissermaßen die „wahre“ Höhe. Dazu müssen weitere systematische Fehler eliminiert werden, wie der Einfluß von Augeshöhe, Refraktion, Höhenparallaxe sowie der Radius bei Unter-/Oberrand von Sonne oder Mond.

In der deutschen Beschickungsrechnung nach FULST (siehe [1] Tafeln 2 ... 5, [2] Tafeln 20 ... 23) werden diese Einzelfehler summarisch für das jeweilige Gestirn durch eine Gesamtbeschickung  $G_b$  und ggf. noch eine Zusatzbeschickung  $Z_b$  beseitigt. Die **beobachtete Höhe** errechnet sich damit zu

$$h_b = KA + G_b + Z_b . \quad (\text{algebraisch addieren!}) \quad (6)$$

Alternativ gibt es die britische Beschickungsrechnung, die im Nautical Almanac [4] erklärt ist. Siehe dazu auch das Formular auf S. 34.

### Verfahrensanleitung für die Sonne:

- Gehe in **Tafel 2** aus [1] **oder** in **Tafel 20** aus [2].
- Tafeleingang/links mit dem ungefähren Kimmabstand  $KA$ , Tafeleingang/oben mit der Augeshöhe (**Poopdeck  $Ah = 7$** ) vornehmen. **Gesamtbeschickung  $G_b$**  entnehmen.
- Bei Beobachtung des Sonnenoberrandes unbedingt die **Zusatzbeschickung  $Z_b$**  hinzunehmen. Beim Sonnenunterrand kann diese vernachlässigt werden.

### Verfahrensanleitung für Fixsterne/Planeten:

- Gehe in **Tafel 3** aus [1] **oder** in **Tafel 21** aus [2].
- Tafeleingang/links mit dem ungefähren Kimmabstand  $KA$ , Tafeleingang/oben mit der Augeshöhe (**Poopdeck  $Ah = 7$** ) vornehmen. **Gesamtbeschickung  $G_b$**  entnehmen.
- Nur Planeten: die Horizontalparallaxe  $HP$  aus den Ephemeriden bereitstellen ( $\rightarrow$  **VA-A05**).
- Die **Zusatzbeschickung  $Z_b$**  für die Horizontalparallaxe  $HP$  (steht dort als „Horizontalverschub“) und den ungefähren Kimmabstand entnehmen.

### Verfahrensanleitung für Mond/Unterrand:

- Gehe in **Tafel 4** aus [1] **oder** in **Tafel 22** aus [2].
- Zuvor die Horizontalparallaxe  $HP$  aus den Ephemeriden bereitstellen ( $\rightarrow$  **VA-A05**).
- Haupttafeleingang/links mit dem ungefähren Kimmabstand  $KA$ , Haupttafeleingang/oben mit der auf volle Minuten abgerundeten Horizontalparallaxe  $HP$  vornehmen. Vorläufigen Wert für die Gesamtbeschickung entnehmen.
- In der Schalttafel/rechts auf gleicher Höhe für Schaltteile des Kimmabstandes und Zehntelminuten der Horizontalparallaxe den Verbesserungswert der Gesamtbeschickung entnehmen und algebraisch zum vorläufigen Wert hinzuaddieren. Damit steht die **Gesamtbeschickung  $G_b$**  fest.
- Die **Zusatzbeschickung  $Z_b$**  für die Augeshöhe (**Poopdeck  $Ah = 7$** ) aus der darunter befindlichen Tafel entnehmen.

### Verfahrensanleitung für Mond/Oberrand:

- Gehe in **Tafel 5** aus [1] **oder** in **Tafel 23** aus [2].
- Weiter Vorgehensweise wie bei **Mond/Unterrand**.

## VA-A03 Sekundengenaue Zeit, Chronometer

**Vorbemerkung:** Die Unterschiede zwischen den Zeiten **UTC** (technisch), **UT1** (Erddrehung) bzw. **UT** ( $\equiv$  **UT1**, (brit.) siehe [11]) sind theoretischer Natur. Alle drei können in der Astronomischen Navigation **als identisch angesehen werden**. Die Größe **Chr** ist dagegen die Zeit, die der Chronometer anzeigt.

Im günstigsten Fall ist an Bord ein hochgenauer Quarzchronometer mit sehr geringer Gangschwankung vorhanden (**es geht auch preisgünstiger, s.u.**), welcher bei Ausfall des GNSS für die sekundengenaue UTC sorgt, die im regulären Fall über einen GNSS-Empfänger gewissermaßen „gratis“ anfällt. Letzterer sollte zur Feststellung der **Chronometerstand-** und **Chronometergangberichtigung** eingesetzt werden, solange das GNSS verfügbar ist.

### Verfahrensanleitung für die Ermittlung der Chronometerstandberichtigung:

- Stoppuhr aufziehen.
- Am GNSS-Empfänger runden Wert der UTC abpassen (als  $UTC_1$  notieren!), **Stoppuhr starten**.
- Am Chronometer wiederum runde Zeit abpassen (als  $Chr_2$  notieren), **Stoppuhr anhalten**.
- Gestoppte Zeit zum Startzeitpunkt  $UTC_1$  hinzuaddieren. Das ist die  $UTC_2$  zum Endzeitpunkt, als der Chronometer  $Chr_2$  anzeigte.

- Differenz bilden entsprechend

$$\boxed{\text{Std} = \text{UTC}_2 - \text{Chr}_2}, \quad (7)$$

womit die Chronometer**stand**berichtigung feststeht.

- Für  $\text{Std} > 0$  bleibt der Chronometer gegen UTC zurück, für  $\text{Std} < 0$  geht er vor.

### Verfahrensanleitung für die Ermittlung der Chronometergangberichtigung:

- Für zwei nicht zu dicht aufeinander folgende Zeitpunkte  $\tau_1$  und  $\tau_2$  (**vorzugsweise**  $\tau_2 - \tau_1 \approx 14$  Tage) jeweils die Chronometer**stand**berichtigungen  $\text{Std}(\tau_1)$  und  $\text{Std}(\tau_2)$  ermitteln.
- Entsprechend

$$\boxed{\text{Gg} = \frac{\text{Std}(\tau_2) - \text{Std}(\tau_1)}{\tau_2 - \tau_1}} \quad \left( \text{Einheit: } [\text{Gg}] = \frac{\text{s}}{\text{Tag}} \right) \quad (8)$$

aus Chronometer**stand**berichtigungen und zugehörigem Zeitraum (**in Tagen einsetzen!**) die Chronometer**gang**berichtigung berechnen.

- Für  $\text{Gg} > 0$  verliert der Chronometer gegen UTC, für  $\text{Gg} < 0$  gewinnt er.

### Verfahrensanleitung für die Vorausberechnung der Chronometerstandberichtigung:

- Der Wert der Chronometer**stand**berichtigung läßt sich durch lineare Extrapolation im Voraus berechnen, sofern ein verlässlicher Wert der Chronometer**gang**berichtigung vorliegt, und die letzte Feststellung der Chronometer**stand**berichtigung  $\text{Std}(\tau_0)$  mit ihrem Zeitpunkt  $\tau_0$  noch nicht allzu weit zurückliegt.
- Die Vorausberechnung erfolgt nach

$$\boxed{\text{Std}(\tau) = \text{Gg} \cdot (\tau - \tau_0) + \text{Std}(\tau_0)}, \quad (9)$$

was nichts anderes ist als eine Geradengleichung mit  $\text{Gg}$  als Steigung und  $\text{Std}(\tau_0)$  als Offset.

- Die aktuelle UTC des Chronometers zum Datum  $\tau$  berechnet sich nun nach Gleichung

$$\boxed{\text{UTC} = \text{Chr} + \text{Std}(\tau)}, \quad (\text{algebraisch addieren!}) \quad (10)$$

was auch Bestandteil der Astro-Formulare auf den Seiten 33 und 34 (dort UT1 oder UT) ist.

Die Chronometerstand- und Chronometergangberichtigung sollten in regelmäßigen Abständen (etwa 10 ... 14 Tage) im **Chronometertagebuch** festgehalten werden!

Am einfachsten ist es, diese Größen jeweils um 1200 UTC festzustellen. Dann fällt  $\tau_2 - \tau_1$  als ganzzahliger Wert in Tagen an.



Bild 19: GNSS-Empfänger und MÜHLE-Chronometer (Gangschwankung  $\leq 0,01$  s/Tag bei  $22^\circ\text{C} \pm 1\text{K}$ )

Die Anschaffung eines Chronometers mit hoher Ganggenauigkeit ist jedoch nicht unbedingt erforderlich. Gewöhnliche **Quarzuhren** erfüllen grundsätzlich den gleichen Zweck. Es ist dann aber wichtig, die regelmäßige Feststellung von Chronometerstandberichtigung und Chronometergangberichtigung gewissenhaft auszuführen und in einem dafür vorgesehenen Oktavheft (früher nannte man das **Chronometertagebuch**) zu protokollieren. Hilfreich ist es auch, die verwendete Quarzuhr im Schiff an einem Ort möglichst gleichbleibender Temperatur aufzubewahren.

Es spricht auch nichts gegen die Verwendung von Quarzuhren mit eingebautem DCF 77- oder GPS-Empfang<sup>2</sup>. Ersterer ist auf hoher See zwar generell nicht verfügbar, aber immerhin in den küstennahen Seegebieten. Letzterer steht mit Ausfall von GPS nicht mehr zur Verfügung. Jedoch laufen derartige Uhren bei ausbleibendem Empfang einfach mit ihrem eingebauten Quarzwerk weiter, was zumindest für die nächsten zwei Monate für eine UTC mit befriedigender Genauigkeit sorgen dürfte.

---

<sup>2</sup> z.B. von JUNGHANS oder SEIKO

## VA-A04 Praxis der Höhenmessung

Gute Höhenmessungen sind das Wichtigste in der Astronomischen Navigation, denn Meßfehler sind im Gegensatz zu Rechenfehlern später nicht mehr aufzuklären. Maßgeblich sind zwei Dinge: die richtige Wahl der Schattengläser bei der Sonne (manchmal auch beim Mond) im oberen Strahlengang, eventl. auch im unteren Strahlengang bei gleißender Kimm. Das zweite ist die exakt-vertikal gemessene Höhe, was durch die Schwenkbewegung des Sextanten während der Messung garantiert wird. Denn dadurch beschreibt das Gestirn einen Bogen über der Kimm, dessen tiefster Punkt dieselbe soeben tangieren darf.

### Verfahrensanleitung:

- Stoppuhr aufziehen und am Sextanten die Indexbeschriftung feststellen.
- Bei hellem Sonnenschein in europäischen Gewässern mindestens zwei Schattengläser in den oberen Strahlengang einschwenken, ggf. auch welche in den unteren Strahlengang. Beim Mond zunächst ohne Schattengläser probieren. Fixsterne und Planeten (außer eventl. Venus) benötigen keine Schattengläser.
- Sextant in Richtung Gestirn auf die Kimm richten, Trommel mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand ausrücken und durch weitläufiges Verstellen der Alhidade das „Gestirn einfangen“. Dabei die Stoppuhr (gesichert mit Band um den Hals) in der linken Hand zwischen Ballen und Mittelfinger (Startknopf) halten.
- Trommel vorsichtig einspuren und durch Drehen derselben Gestirn auf die Kimm setzen. Dabei gleichzeitig Sextant für vertikale Messung schwenken (siehe Text oben und Bild 20 unten).
- Bei Sonne oder Mond wird entweder der Unterrand (normal) oder Oberrand (seltener) in Berührung zur Kimm gebracht. Planeten und Fixsterne werden mittig auf die Kimm gesetzt.
- Wenn der passende Moment gekommen ist, Stoppuhr starten und Trommel loslassen.
- Gemessenen Höhenwinkel am Sextant ablesen ( $\rightarrow$  VA-A01) und auf dem Astro-Formular notieren. Durch Beschickungsrechnung ( $\rightarrow$  VA-A01/02) die **beobachtete Höhe**  $h_b$  (bzw. *height observed*  $H_o$ ) ermitteln.
- Sextanten sicher verstauen und mit der laufenden Stoppuhr zum Chronometer gehen.
- Stoppuhr bei runder Uhrzeit am Chronometer anhalten und diese als Chronometer-Stopp in das Astro-Formular eintragen. Gestoppte Zeit davon abziehen und Ergebnis als Chronometerzeit  $\text{Chr}$  der Höhenmessung ebenfalls dort notieren. Anschließend UT1 (bzw. UT auf engl. Formular) zum Zeitpunkt der Höhenmessung entsprechend (10) ausrechnen.

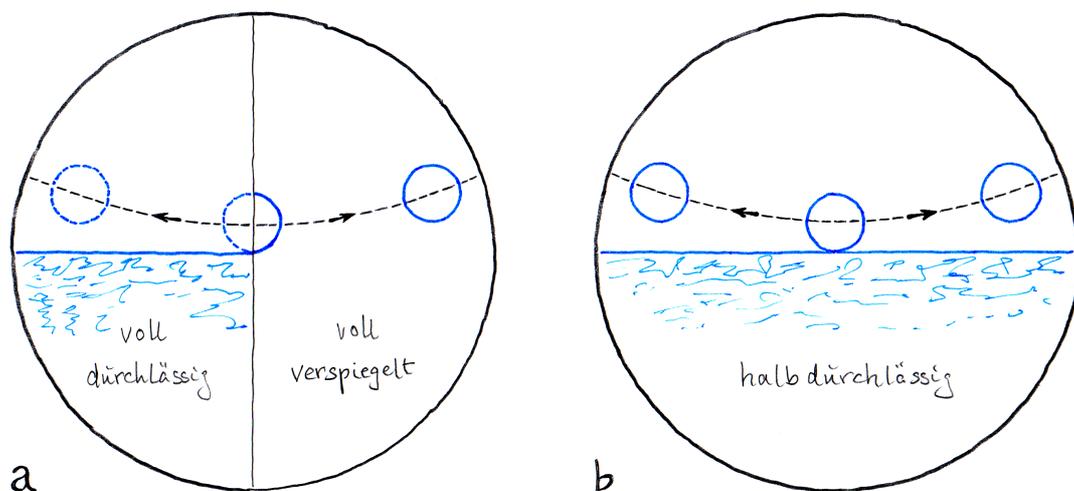


Bild 20: Schwenkbewegung zur Höhenmessung des Sonnenunterrandes

- a) Traditioneller Sextant mit Halbsichtspiegel (*Trennlinie ist in der Realität nicht scharf*)
- b) Vollsichtsextant (*Sextant im Blauen Schrank*)

## VA-A05 Ephemeriden

Nachdem das BSH das Nautische Jahrbuch mit dem Jahrgang 2020 leider eingestellt hat, bleibt nun nur noch der britische **Nautical Almanac (NA)** [4], dessen Gebrauch aber dem Nautischen Jahrbuch sehr ähnlich ist. So werden auf den Tagessseiten je drei Tage präsentiert, und **die Uhrzeit heißt dort UT (anstelle von UT1 oder UTC)**. Für die Praxis ist das aber das Gleiche. Um den Gebrauch des Nautical Almanac zu erleichtern, wurde das (ursprünglich deutsche) Astro-Formular (S. 33) nun zweisprachig gestaltet. Die traditionell deutschen Bezeichnungen weiterhin in schwarz, die englischen in blau. Darüberhinaus gibt es ein zweites Formular (S. 34), das ganz auf britische Verhältnisse zugeschnitten ist. Dieses ist insbesondere von Vorteil bei der britischen Beschickungsrechnung, die im Nautical Almanac – wie überhaupt der Gebrauch desselben – recht gut erklärt wird.

### Verfahrensanleitung für die Sonne:

- Gehe im Nautical Almanac [4] auf die zum Datum passende Tagessseite/rechts und entnehme für die UT (volle Stunde) für die Sonne die Werte des Greenwich-Stundenwinkels GHA und die Deklination Dec sowie unten in der Kolumne den Wert für den stündlichen Unterschied  $d$  bei der Deklination,
- gehe in die Schalttafel „INCREMENTS AND CORRECTIONS“ des Nautical Almanac und entnehme dort den Schaltwert für Minuten und Sekunden zum GHA aus der Spalte „SUN/PLANETS“. In der gleichen Minutenkolumne (**ignoriere die Sekundenspalte links!**) erfährt man auch den Verbesserungswert  $\text{Corr}^n$  der Deklination aufgrund des Unterschiedes  $d$ .
- Alle Werte in eines der Astro-Formulare (nächste Seiten) eintragen und die engültigen Werte für Greenwich-Stundenwinkel  $t_{\text{Gr}}$ /GHA und Deklination  $\delta$ /Dec ausrechnen.  
oder
- Taschenrechnerprogramm **2-Epheme** aufrufen (alle Eingaben mit EXE bestätigen!)
- Datum (z.B. Jahr = 2009, Monat = 6, Tag = 14) und UT1 eingeben (z.B. UT1 [hh.mmss] = 18.0731 für 18.07.31).
- Für die Sonne den Greenwich-Stundenwinkel und die Deklination entnehmen (Sonne:  $t_{\text{Gr}} = 91.476$ ,  $\delta = 23.176$ ).
- Greenwich-Stundenwinkel und Deklination (hier:  $t_{\text{Gr}} = 91^{\circ}47,6'$ ,  $\delta = 23^{\circ}17,6' \text{ N}$ ) an der „endgültigen“ Stelle eines der Astro-Formulare (nächste Seiten) eintragen.

### Verfahrensanleitung für Fixsterne:

- Gehe im Nautical Almanac [4] auf die zum Datum passende Tagessseite/links und entnehme für die UT (volle Stunde) den Wert für den Greenwich-Stundenwinkel GHA.
- gehe in die Schalttafel „INCREMENTS AND CORRECTIONS“ des Nautical Almanac und entnehme dort den Schaltwert für Minuten und Sekunden zum GHA aus der Spalte „ARIES“.
- Alle Werte in eines der Astro-Formulare (nächste Seiten) eintragen.  
oder
- Taschenrechnerprogramm **2-Epheme** aufrufen (alle Eingaben mit EXE bestätigen!)
- Datum (z.B. Jahr = 2009, Monat = 2, Tag = 25) und UT1 eingeben (z.B. UT1 [hh.mmss] = 17.0648 für 17.06.48).
- Für den Frühlingspunkt (Aries) den Greenwich-Stundenwinkel entnehmen (Aries:  $t_{\text{Gr}} = 52.235$ ).
- Greenwich-Stundenwinkel/Aries (hier:  $t_{\text{Gr}\gamma} = 52^{\circ}23,5'$ ) in der obersten Zeile in das Rechenformular eintragen.

Weiterhin ...

- aus der Tafel „STARS, 20xx JANUARY – JUNE“ den Sternwinkel SHA und die (endgültige) Deklination Dec des Fixsterns entnehmen (z.B. in 2009 für Arcturus ( $\alpha$ -Bootis, Nr. 37)  $SHA = 145^\circ 48.5'$  und  $Dec = 19^\circ 07.8' N$ ) und in eines der Astro-Formulare (nächste Seiten) eintragen.
- Engültigen Wert für Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr}/GHA$  des Fixsterns ausrechnen, (hier:  $t_{Gr} = 198^\circ 12,1'$ ).

Für die Ephemeriden von **Mond** und **Planeten** ist der Nautical Almanac [4] zu verwenden, Taschenrechnerprogramme dazu liegen nicht vor. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in dieser Kurzanleitung auch keine Verfahrensanweisungen dafür gegeben. Jedoch ist es nicht schwer, sich die Vorgehensweise anhand der Erklärungen in [4] und [7] zu erarbeiten. Es ist – kurz gesagt – so, daß die Abhängigkeit von Greenwich-Stundenwinkel und Deklination von der Zeit hier erheblich komplizierter ist als bei Sonne und Fixsternen. Daher werden zusätzlich für jede Stunde in den Tagesseiten Unterschiede  $v, d$  angegeben, die mit der Tafel INCREMENTS AND CORRECTIONS in Verbesserungswerte  $Corr^n$  umgewandelt werden müssen und entsprechend der Astro-Formulare einzurechnen sind. Außerdem wird die Horizontalparallaxe HP zur Beschickungsrechnung angegeben.

Eine weitere Möglichkeit zur Ephemeridenermittlung besteht in Computerprogrammen, wie sie im Internet zum meist kostenlosen Download angeboten werden. Wie z.B. **NauticTools** (Brückenrechner) von MARKUS EISENBART ([www.nautictools.de](http://www.nautictools.de)). Die Autoren derartiger Software übernehmen allerdings keine Garantie.

In diese Kategorie fällt auch der auf [www.TheNauticalAlmanac.com](http://www.TheNauticalAlmanac.com) zum Download angebotene „Nautical Almanac“. Dieser hat nichts mit der amtlichen Veröffentlichung vom United Kingdom Hydrographical Office (UKHO) zu tun. Ein ausgedrucktes Exemplar davon steht aber im Blauen Schrank als **Notfallvariante für** [4], falls der originale Nautical Almanac einmal nicht rechtzeitig beschafft werden konnte oder verlorengegangen ist.

→ **Nur benutzen, wenn das Original [4] nicht verfügbar ist!**

## VA-A05a Ephemeriden f. Sonne/Fixsterne mit [5]

Der **Long Term Almanac 2000-2050** von GEOFFREY KOLBE ist das, was man im Amerikanischen als „sophisticated“ bezeichnet, also eine geniale Sache. Funktionieren kann ein derart langfristig angelegter Almanac allerdings nur für Gestirne mit besonderer Periodizität wie Sonne und Fixsterne. Für Planeten und erst recht den Mond kann es so etwas nicht geben.

Da es sich um etwas handelt, das im „Notfalle des Notfalls“ angewendet wird, also wenn andere Ephemeriden nicht (mehr) vorhanden sind, sei hier auf eine detaillierte Verfahrensanweisung verzichtet. Das ist nicht weiter schlimm ist, da in [5] eine recht gut verständliche Anleitung gegeben wird.

Wovon man allerdings als Gelegenheits-Astronavigator unbedingt Abstand nehmen sollte, ist die Verwendung der **Concise Sight Reduction Tables**, die in [5] (und ebenso in [4]) enthalten ist. Diese Tafel sind zwar genial kurz, aber mit vielen Fallstricken ausgestattet.

Höhenstandlinie für FULST/ROSE/NORIE/Taschenrechner							
Datum	. . 20 _ _		Gestirn	☉ ☾ ★		Ah	m
Ort	$\varphi$	° , ' <sup>N</sup> <sub>S</sub>	$\lambda$	° , ' <sup>E</sup> <sub>W</sub>	Sextant		
Chronometer- Start Stopp	. .		$t_{Gr} / GHA$ für h		° , '		
Stoppuhr	± .		$Zw / Incr$ für m s		+ ° , '		
Chr	$\Sigma$ . .		$Unt / v = \pm , '$		$Vb / Corr^n$ ± , '		
Std	± . .		$\beta / SHA$		+ ° , '		
UT1	$\Sigma$ . .		$t_{Gr} / GHA$ vorläufig/endgültig		$\Sigma$ ° , '		
Sextantablesung	° , '		$\pm 360^\circ ?$		$\pm 360^\circ 00,0'$		
lb	± , '		$t_{Gr} / GHA$ endgültig/verändert		$\Sigma$ ° , '		
KA	$\Sigma$ ° , '		$\lambda$ ( $\lambda_E + / \lambda_W -$ )		± ° , '		
Gb	± , '		$t$ bzw. $t_W$		$\Sigma$ ° , '		
HP = , '	± , '		360°		360° 00,0'		
Zb	± , '		-t		- ° , '		
$h_b$	$\Sigma$ ° , '		$360^\circ - t = t_E$		$\Sigma$ ° , '		
log cos $\varphi$	, '		$\delta / Dec$ für h		<sup>N</sup> <sub>S</sub>	° , '	
log cos $\delta$	, '		$Unt / d = \pm , '$		$\frac{Vb}{Corr^n}$	± , '	
log sem $t$	, '		$\delta / Dec$ endgültig		<sup>N</sup> <sub>S</sub>	$\Sigma$ ° , '	
log sem $y$	$\Sigma$ , '		$ \varphi $ oder $ \delta $		° , '		
sem $y$	, '		$\pm  \delta $ oder $- \varphi $		± ° , '		
sem $[\varphi - \delta]$	, '		$(\pm \text{ungln. / gln.})  \varphi - \delta $		$\Sigma$ ° , '		
sem $z$	$\Sigma$ , '		$t, \varphi \rightarrow A$		± ,		
$z$	° , '		$t, \delta \rightarrow B$		± ,		
90°	90° 00,0'		$C = A + B$		$\Sigma$ ± ,		
-z	- ° , '		$\varphi, C \rightarrow Az$ viertelkr.		<sup>N</sup> <sub>S</sub>	° <sup>E</sup> <sub>W</sub>	
90° - z = $h_r$	$\Sigma$ ° , '		$\alpha_{Az}$ vollkreisig		, °		
$\Delta h = h_b - h_r$	± , '		$\Delta h \geq 0$ zum <b>Gestirn</b> hin vom <b>weg</b>		Prof. Dr. F.-M. Mestemacher Kreuzer Yacht Club Deutschland		

<b>Sight Reduction Form</b>	NORIE's Nautical Tables / Calculator	
-----------------------------	--------------------------------------	--

Date	. . 20 _ _	Body	☉ ☾ ★	HP	. '
------	------------	------	-------	----	-----

Location	LAT	° . ' N S	LONG	° . ' E W	Height of Eye	m ft
----------	-----	--------------	------	--------------	------------------	---------

Chronometer- Start Stop	. .	<b>Sextant / Serial-No.:</b>	
Stopwatch	± .	GHA für h	° . '
Chr	Σ . .	Increment m s	+ ° . '
Chronometer-Corr <sup>n</sup>	± . .	$v = \pm . '$	Corr <sup>n</sup> ± . '
UT	Σ . .	SHA	+ ° . '
Sextant Altitude	° . '	GHA preliminary/finally	Σ ° . '
Index Corr <sup>n</sup>	± . '	± 360° ?	± 360° 00.0'
Sext. Alt. corr. for Index	Σ ° . '	GHA finally/amended	Σ ° . '
DIP	- . '	LONG (E+ / W-)	± ° . '
Apparent Altitude	Σ . '	LHA resp. LHA <sub>W</sub>	Σ ° . '
Alt. Corr <sup>n</sup>	± . '	360°	360° 00.0'
Alt. Corr <sup>n</sup> (additional)	± . '	- LHA	- ° . '
$H_o$ (height observed)	Σ ° . '	$360^\circ - LHA = LHA_E$	Σ ° . '
log cos LAT	. .	Dec for h	N S ° . '
log cos Dec	+ .	$d = \pm . '$	Corr <sup>n</sup> ± . '
log hav LHA	+ .	Dec (finally)	N S Σ ° . '
log hav $y$	Σ .	LAT  or  Dec	° . '
hav $y$	. .	±  Dec  or - LAT	± ° . '
hav [LAT ± Dec]	+ .	(± <sup>contrary</sup> same)  LAT ± Dec	Σ ° . '
hav $z$	Σ .	LHA, LAT → A	± .
$z$	° . '	LHA, Dec → B	± .
90°	90° 00.0'	$C = A + B$	Σ ± .
-z	- ° . '	LAT, C → Z	N S . ° E W
$90^\circ - z = H_c$	Σ ° . '	<b>Zn</b> (0 ... 360°)	. °

$a = H_o - H_c$	± . '	$a \geq 0$ towards away	<b>Prof. Dr. Franka-Maria Mestemacher</b> Kreuzer Yacht Club Deutschland
-----------------	-------	----------------------------	---

## VA-A06 Höhenverfahren/Taschenrechner, man.

Alle Größen, die in den Gleichungen (12), (13) und (14) eingesetzt werden, müssen vorher dezimalisiert werden (siehe [7], Abschnitt 2.1). Und umgekehrt ist die rechnerische Höhe in die Nautische Form (d) d° mm, m' zurückzuverwandeln.

### Verfahrensanleitung:

- Mit dem **Sextanten** die Höhe des Gestirns messen und zeitgleich die Stoppuhr starten, anschließend die Sextantablesung notieren und den Sextanten sicher verstauen (→ VA-A04).
- Die Stoppuhr anhalten, wenn der **Chronometer** eine „runde“ Uhrzeit anzeigt (z. B. volle Minute). Die gestoppte Zeit wird anschließend von ebendiesem Zeitpunkt abgezogen. Nach Anbringung der Chronometerstandberichtigung Chr ist damit die UT1 zur Sextantmessung bekannt (→ VA-A03/04).
- Für diese UT1 sind nun die **Ephemeriden**, also der Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr}$ , die Deklination  $\delta$  und gegebenenfalls noch die Horizontalparallaxe HP, des beobachteten Gestirns zu ermitteln (→ VA-A05).
- Die Sextantablesung ist durch Anbringen sämtlicher **Beschickungen**, zuerst der Indexbeschildung, anschließend aller weiteren für das Gestirn erforderlichen Beschickungen gemäß Augeshöhe, Unter-/Obertrand, Horizontalparallaxe etc. in die beobachtete Höhe  $h_b$  umzuwandeln (→ VA-A01/02).
- Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr}$  gemäß Astro-Formular mit Ost- oder Westlänge  $\lambda_E, \lambda_W$  des Kopelortes zum **Ortsstundenwinkel**  $t$  kombinieren, d.h.

$$\begin{aligned}t &= t_{Gr} + \lambda_E, \\t &= t_{Gr} - \lambda_W.\end{aligned}\tag{11}$$

- Für den gekoppelten (gegißten) Schiffsort zum Zeitpunkt der Sextantmessung ist nun die **rechnerische Höhe**  $h_r$  und der Azimut  $\alpha_{Az}$  zu ermitteln. Erstere folgt aus der Fundamentalformel

$$h_r = \arcsin[\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t].\tag{12}$$

Der **Azimut** hingegen folgt aus der Hilfsgröße

$$Z = \arccos\left[\frac{\sin \delta - \sin h_r \sin \varphi}{\cos h_r \cos \varphi}\right]\tag{13}$$

in Verbindung mit

$$\alpha_{Az} = \begin{cases} 360^\circ - Z & \text{für } t = t_W \in [0^\circ, 180^\circ], \\ Z & \text{für } t = 360^\circ - t_E \in [180^\circ, 360^\circ]. \end{cases}\tag{14}$$

Aus der beobachteten und der rechnerischen Höhe resultiert schließlich die **Höhendifferenz**

$$\Delta h = h_b - h_r\tag{15}$$

vgl. hierzu •[7], Abschnitte 2.5 und 4.3.1.

- Abschließend wird in Seekarte oder MERCATOR-Netz durch den gekoppelten (gegißten) Ort der Azimutstrahl gelegt, auf diesem die Höhendifferenz  $\Delta h > 0$  ( $\Delta h < 0$ ) zum Gestirn hin (vom Gestirn weg) abgetragen, wodurch der Leitpunkt L feststeht. Im Leitpunkt wird schließlich orthogonal zum Azimutstrahl die **Standlinie** gezeichnet. Diese graphische Auswertung wird in → VA-A11 ausführlich behandelt.

### Test:

$$\begin{aligned}\varphi &= 46^\circ 21' N = 46.35^\circ, & \delta &= 10^\circ 28,7' S = -10.4783^\circ, & t &= 14^\circ 36,8' = 14.6133^\circ, \\ \rightarrow h_r &= 31.6812^\circ = 31^\circ 40,9', & Z &= 163,1^\circ, & \alpha_{Az} &= 196,9^\circ\end{aligned}$$

## VA-A07 Höhenverfahren/Rechnerprogramm

Hier sind keine Dezimalisierungen vorzunehmen! Das macht schon das Programm. Die Nautische Form **(d)dd° mm,m'** wird als **(d)dd.mmm** eingegeben. Und entsprechend erfolgt die Ausgabe der rechnerischen Höhe. Der Azimut wird dezimal (auf eine Nachkommastelle gerundet) als **ddd.d°** ausgegeben.

### Verfahrensweisung:

- Mit dem **Sextanten** die Höhe des Gestirns messen und zeitgleich die Stoppuhr starten, anschließend die Sextantablesung notieren und den Sextanten sicher verstauen (→ **VA-A04**).
- Die Stoppuhr anhalten, wenn der **Chronometer** eine „runde“ Uhrzeit anzeigt (z. B. volle Minute). Die gestoppte Zeit wird anschließend von ebendiesem Zeitpunkt abgezogen. Nach Anbringung der Chronometerstandberichtigung Chr ist damit die UT1 zur Sextantmessung bekannt (→ **VA-A03/04**).
- Für diese UT1 sind nun die **Ephemeriden**, also der Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr}$ , die Deklination  $\delta$  und gegebenenfalls noch die Horizontalparallaxe HP, des beobachteten Gestirns zu ermitteln (→ **VA-A05**).
- Die Sextantablesung ist durch Anbringen sämtlicher **Beschickungen**, zuerst der Indexbeschildung, anschließend aller weiteren für das Gestirn erforderlichen Beschickungen gemäß Augeshöhe, Unter-/Oberrand, Horizontalparallaxe etc. in die beobachtete Höhe  $h_b$  umzuwandeln (→ **VA-A01/02**).
- Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr}$  gemäß Astro-Formular mit Ost- oder Westlänge  $\lambda_E, \lambda_W$  des Koppelortes zum **Ortsstundenwinkel**  $t$  kombinieren, d.h.

$$t = t_{Gr} + \lambda_E,$$

$$t = t_{Gr} - \lambda_W.$$

(11)

- 
- Taschenrechnerprogramm **1-HAZ** (für Höhe/Azimut) aufrufen (**Eingaben mit EXE bestätigen!**)
  - Ortsstundenwinkel (z.B.  $t = 14^\circ 36,8'$  als  $t = 14.368$ ) eingeben,
  - Breite des Koppelortes (z.B.  $\varphi = 46^\circ 21' N$  als  $\varphi = 46.21$ ) eingeben,
  - Deklination (z.B.  $\delta = 10^\circ 28,7' S$  als  $\delta = -10.287$ ) eingeben.
  - Ausgabedaten (hier:  $h = 31.409$  und  $\alpha_{Az} = 196.9$ ) entnehmen.
  - Rechnerische Höhe und Azimut (hier:  $h_r = 31^\circ 40,9'$ ,  $\alpha_{Az} = 196,9^\circ$ ) unten in einem der Astro-Formulare (Seiten 33 und 34) eintragen.
  - Abschließend wird in Seekarte oder MERCATOR-Netz durch den gekoppelten (gegißten) Ort der Azimutstrahl gelegt, auf diesem die Höhendifferenz  $\Delta h > 0$  ( $\Delta h < 0$ ) zum Gestirn hin (vom Gestirn weg) abgetragen, wodurch der Leitpunkt L feststeht. Im Leitpunkt wird schließlich orthogonal zum Azimutstrahl die **Standlinie** gezeichnet. Diese graphische Auswertung wird in → **VA-A11** ausführlich behandelt.

## VA-A08 Höhenverfahren/HO 249, Vol. 2/3

Die weithin bekannte **HO 249** [6] wurde Mitte des 20. Jahrhunderts für die amerikanische Airforce entwickelt. Ihre Einfachheit ist bestechend (fast nichts zu rechnen). Dafür muß man statt des Koppelortes einen künstlichen Rechenort (mit ganzgradigen Werten für Breite LAT und Ortsstundenwinkel LHA) konstruieren. Die Genauigkeit des Verfahrens bleibt deutlich hinter den Rechnerlösungen zurück.

### Verfahrensanleitung:

- Verfahrensschritte nach VA-A06/07 bis zur **Trennlinie** (unter Gleichung (11)) ausführen. Dann je nach Koppelbreite den richtigen Band auswählen (**Vol. 2** für 0°–40°, **Vol. 3** für 39°–89°).
- Breite des Koppelortes zum ganzgradigen Betrag der **Breite des Rechenortes** auf-/abrunden

$$\varphi_{\text{r}} := \varphi|_{\text{gerundet}}^{\circ}, \quad |\varphi_{\text{r}}| =: \text{LAT} . \quad (16)$$

- In gleicher Weise den Ortsstundenwinkel zu  $t|_{\text{gerundet}}^{\circ} =: \text{LHA}$  auf-/abrunden. Die **Ost- bzw. Westlänge des Rechenortes** folgt nun aus der „Rückwärtsrechnung“

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{r,E}} &= t|_{\text{gerundet}}^{\circ} - t_{\text{Gr}} = \text{LHA} - \text{GHA} \\ \lambda_{\text{r,W}} &= t_{\text{Gr}} - t|_{\text{gerundet}}^{\circ} = \text{GHA} - \text{LHA} . \end{aligned} \quad (17)$$

- Betrag der **Deklination** gemäß

$$|\delta| = \underbrace{\text{DECL}}_{\text{ganzgradiger Anteil}} + \text{Minutenwert} \quad (18)$$

in einen ganzgradigen Anteil und restliche Minuten zerlegen.

- Mit den Größen LAT, DECL und LHA in die Haupttafel gehen. Dabei die Unterscheidung

... **SAME** NAME ... (LAT und DECL auf der gleichen Halbkugel),

... **CONTRARY** NAME ... (LAT und DECL auf verschiedenen Halbkugeln)

beachten!

- Den (vorläufigen) Wert für die rechnerische Höhe  $H_c$  (*height computed*), die Schaltgröße  $d$  zur Deklination (**Achtung! Verschiedene Vorzeichen möglich!**) sowie die Hilfsgröße  $Z$  zum Azimut entnehmen.
- In der Hilfstafel (Table 5) für die Schaltgröße  $d$  und den restlichen Minutenwert der Deklination nach Gleichung (18) den Verbesserungswert für die rechnerische Höhe entnehmen (**Achtung! Letzterer mit dem gleichen Vorzeichen wie  $d$ !**) und algebraisch zu  $(H_c)_{\text{endgültig}} \equiv h_{\text{r}}$  zusammenaddieren. Höhendifferenz  $\Delta h = h_{\text{b}} - h_{\text{r}}$  ausrechnen.
- Der Azimut  $\alpha_{\text{Az}} \equiv Z_{\text{n}}$  berechnet sich schließlich aus der Hilfsgröße  $Z$  nach den auf jeder Seite der HO 249 angegebenen Regeln

$$\text{N.Lat.} \begin{cases} \text{LHA} > 180^{\circ} \dots\dots Z_{\text{n}} = Z \\ \text{LHA} < 180^{\circ} \dots\dots Z_{\text{n}} = 360^{\circ} - Z \end{cases} \quad \text{S.Lat.} \begin{cases} \text{LHA} > 180^{\circ} \dots\dots Z_{\text{n}} = 180^{\circ} - Z \\ \text{LHA} < 180^{\circ} \dots\dots Z_{\text{n}} = 180^{\circ} + Z . \end{cases}$$

- Abschließend wird in Seekarte oder MERCATOR-Netz durch den **Rechenort (!)** der Azimutstrahl gelegt, auf diesem die Höhendifferenz  $\Delta h > 0$  ( $\Delta h < 0$ ) zum Gestirn hin (vom Gestirn weg) abgetragen, wodurch der Leitpunkt L feststeht. Im Leitpunkt wird schließlich orthogonal zum Azimutstrahl die **Standlinie** gezeichnet. Diese graphische Auswertung wird in **→ VA-A11** ausführlich behandelt.

## VA-A09 Höhenverfahren/HO 249, Vol. 1, Fixsterne

Es sei daran erinnert, daß die Höhenbeobachtung von Fixsternen nur in einem **relativ kurzen Zeitfenster** stattfinden kann. Dann nämlich, wenn die Fixsterne schon und die Kimm noch zu sehen sind (Abenddämmerung), oder umgekehrt (Morgendämmerung). Das Zeitfenster wird bestimmt durch die **Nautische Dämmerung** (Sonne mit  $h = -6^\circ \dots -12^\circ$ ). **Nachts geht gar nichts!**

Der Band 1 der **HO 249** [6] bietet den direkten Zugang zu Höhe und Azimut von vielen Fixsternen, ohne daß dazu Sternwinkel  $\beta$ /**SHA** und Deklination  $\delta$ /**Dec** im Nautical Almanac nachgeschlagen werden müssen. Das hängt damit zusammen, daß letztere Größen über einen gewissen Zeitraum als konstant angesehen werden können. Daher erscheint dieser Band auch alle 5 Jahre neu. Trotzdem weist die vertafelte Höhe der Fixsterne nicht selten Fehler von mehreren Minuten auf. Natürlich genügt das, um in den Weiten des Ozeans Orientierung zu finden. Aber wirklich befriedigend ist das nicht.

Dennoch hat dieser Band eine sehr brauchbare Eigenschaft: in die Haupttafel geht man mit den gerundeten Werten von Breite und Ortsstundenwinkel/Aries ein und findet dann einen **Block mit 7 navigationstauglichen Fixsternen** vor, wobei die lichtstarken in Großbuchstaben (z.B. **CAPELLA**) erscheinen. Zusätzlich aber – und das ist wirklich gut! – werden jeweils 3 Fixsterne, deren Azimute (und damit deren Standlinien) sich unter günstigen Winkeln schneiden, mit einem Rautensymbol  $\blacklozenge$  gekennzeichnet (z.B.  $\blacklozenge$  **ARCTURUS**,  $\blacklozenge$  **Dubhe**).

### Verfahrensweisung:

- Breite des Koppelortes zum ganzgradigen Wert der **Breite des Rechenortes** auf-/abrunden

$$\boxed{\text{LAT} \equiv |\varphi_r| := \left| \varphi \Big|_{\text{gerundet}} \right|} . \quad (\text{vgl. auch (16)}) \quad (19)$$

- Beginn der Dämmerung ermitteln und dem Nautical Almanac [4] dafür den Greenwich-Stundenwinkel  $t_{\text{Gr}\Upsilon} \equiv \text{GHAY}$  des Frühlingspunktes (Aries) entnehmen.
- Greenwich-Stundenwinkel/Aries  $t_{\text{Gr}\Upsilon}$ /**GHAY** mit der Ost- oder Westlänge des Koppelortes zum Ortsstundenwinkel/Aries  $t_\Upsilon$  kombinieren, d.h.

$$\begin{aligned} t_\Upsilon &= t_{\text{Gr}\Upsilon} + \lambda_E , \\ t_\Upsilon &= t_{\text{Gr}\Upsilon} - \lambda_W . \end{aligned} \quad (11a)$$

- Anschließend diesen Wert entsprechend

$$\boxed{\text{LHAY} := t_\Upsilon \Big|_{\text{gerundet}}^\circ} \quad (20)$$

auf-/abrunden. Die Rückrechnung zur **Ost- oder Westlänge des Rechenortes** erfolgt dann wieder nach

$$\boxed{\begin{aligned} \lambda_{r,E} &= t_\Upsilon \Big|_{\text{gerundet}}^\circ - t_{\text{Gr}\Upsilon} = \text{LHAY} - \text{GHAY} \\ \lambda_{r,W} &= t_{\text{Gr}\Upsilon} - t_\Upsilon \Big|_{\text{gerundet}}^\circ = \text{GHAY} - \text{LHAY} \end{aligned}} . \quad (17)$$

- Mit den Größen **LAT** und **LHAY** in die Haupttafel gehen und beobachtbare Sterne aussuchen. Die vertafelten Werte für Höhe  $H_c$  und Azimut  $Z_n$  muß man nicht unbedingt zur Ortsfindung nehmen. Aber zum Auffinden der Sterne sind die Werte allemal zu gebrauchen (**Höhe  $H_c$  am Sextanten voreinstellen!**).
- **Empfehlung:** nach Höhenmessung mehrerer Sterne und Beschickungsrechnung ( $\rightarrow$  **VA-A02**) mit Ephemeriden-Beschaffung ( $\rightarrow$  **VA-A05**), Rechnerlösung ( $\rightarrow$  **VA-A07**) und Konstruktion der Standlinien ( $\rightarrow$  **VA-A11**) fortfahren.
- **Nicht zu empfehlen:** die vertafelten Werte zur Konstruktion der Standlinien ( $\rightarrow$  **VA-A11**) direkt zu verwenden.

## VA-A10 Identifikation unbekannter Fixsterne

Es sei daran erinnert, daß die Höhenbeobachtung von Fixsternen nur in einem **relativ kurzen Zeitfenster** stattfinden kann. Dann nämlich, wenn die Fixsterne schon und die Kimm noch zu sehen sind (Abenddämmerung), oder umgekehrt (Morgendämmerung). Das Zeitfenster wird bestimmt durch die **Nautische Dämmerung** (Sonne mit  $h = -6^\circ \dots -12^\circ$ ). **Nachts geht gar nichts!**

Neben der Schwierigkeit, möglichst viele Fixsterne in der kurzen Dämmerungsphase einzumessen, besteht noch ein weiteres Problem: die Identifikation! Alle Fixsterne sehen in der Optik des Sextanten mehr oder weniger gleich aus. Sternbilder helfen hier nicht immer. Und eine Möglichkeit besteht natürlich in der Vorauswahl nach  $\rightarrow$  **VA-A09**, wie zuvor erklärt.

Eine weitere Methode, die in der Literatur eher vernachlässigt wird, besteht jedoch darin, sich um die Identifikation während der Dämmerung gar nicht zu kümmern. Man mißt einfach die Höhe des/der zuerst sichtbaren Fixsterne(s). Man findet diese naturgemäß auf der sonnenabgewandten Seite, wo der Sternenhimmel schneller dunkel wird bzw. länger dunkel bleibt. Zusätzlich zur Höhenmessung ist aber eine **Grobschätzung des Azimutes** (auf  $\pm 10^\circ$  genau ist ausreichend) erforderlich. Aus diesen beiden Größen und der Koppelbreite lassen sich durch Umkehrung der sphärisch-astronomische Rechnung die (ungefähren) Werte des Ortsstundenwinkels und der Deklination des eingemessenen Fixsterns zurückermitteln. Das Taschenrechnerprogramm **3-IDEFIX** kann aber noch mehr!

### Verfahrensanleitung:

- Höhenmessung für mehrere Fixsterne durchführen, sobald diese in der Dämmerung erscheinen.
- Für jeden Fixstern **Grobschätzung des Azimutes** (auf  $\pm 10^\circ$  genau ist ausreichend) über Kreiseltochter oder Magnet-Peilkompaß vornehmen. Der Einsatz eines Peildipters ist dafür nicht erforderlich.
- Gemessene Höhen und geschätzte Azimute samt UT1 auf Astro-Formular protokollieren. Eine Hilfsperson ist dafür aufgrund des Zeitdrucks sinnvoll! Beschickungsrechnung ( $\rightarrow$  **VA-A02**) durchführen.
- Nachdem alle Messungen durchgeführt sind, Taschenrechnerprogramm **3-IDEFIX** aufrufen und geschätzten Azimut  $\alpha_{Az}$  (z.B.  $\alpha_{Az} [ddd.d] = 280.0$ ) eingeben. (**Eingaben mit EXE bestätigen!**)
- Beobachtete Höhe (z.B.  $h_b [dd.mmm] = 19.49$ ),
- Breite des Koppelortes  $\varphi$  (z.B.  $\varphi [dd.mm] \cong 54.48$ ) und Länge des Koppelortes  $\lambda$  (z.B.  $\lambda [dd.mm] \cong 13.12$ ) eingeben.
- Meßzeitpunkt mit  
Jahr (z.B.  $Jahr = 2021$ ),  
Monat (z.B.  $Monat = 10$ ),  
Tag (z.B.  $Tag = 20$ ),  
UTC (z.B.  $UTC [hh.mmss] = 16.57$ )  
eingeben.
- Den Sternwinkel  $\beta$  und die Deklination  $\delta$  des eingemessenen Fixsterns entnehmen (hier:  $\beta = 149.2$ ,  $\delta = 21.47$ ).
- Wegen  $\delta > 0$  ist die ermittelte Deklination N-lich. **Tabelle 1** (nächste Seite) liefert mit  
**ARCTURUS**:  $\beta \approx 145^\circ 50'$  und  $\delta \approx 19^\circ 04' N$   
ein plausibles Ergebnis!

Nr.	Name	Sternbild	mag	$\beta \approx$	$\delta \approx$
69	WEGA	$\alpha$ -Lyrae	0,0	080° 35'	38° 48' N
53	ARCTURUS	$\alpha$ -Bootis	0,0	145° 50'	19° 04' N
18	CAPELLA	$\alpha$ -Aurigae	0,1	280° 25'	46° 01' N
24	BETELGEUSE	$\alpha$ -Orionis	0,1 ... 1,6	270° 56'	07° 25' N
33	PROCYON	$\alpha$ -Canis minoris	0,4	244° 53'	05° 10' N
71	ATAIR	$\alpha$ -Aquilae	0,8	062° 03'	08° 56' N
16	ALDEBARAN	$\alpha$ -Tauri	0,9	290° 42'	16° 33' N
34	POLLUX	$\alpha$ -Geminorum	1,1	243° 20'	27° 58' N
73	DENEK	$\alpha$ -Cygni	1,3	049° 28'	45° 22' N
39	REGULUS	$\alpha$ -Leonis	1,4	207° 37'	11° 52' N

**Tabelle 1:** Die zehn hellsten Fixsterne der nördlichen Himmelshalbkugel (2021)

Nr.	Name	Sternbild	mag	$\beta \approx$	$\delta \approx$
29	SIRIUS	$\alpha$ -Canis majoris	-1,5	258° 28'	16° 45' S
27	CANOPUS	$\alpha$ -Carinae	-0,7	263° 53'	52° 42' S
54	TOLIMAN	$\alpha$ -Centauri	-0,3	139° 10'	60° 55' S
17	RIGEL	$\beta$ -Orionis	0,1	281° 06'	08° 11' S
8	ACHERNAR	$\alpha$ -Eridani	0,5	335° 22'	57° 08' S
51	HADAR	$\beta$ -Centauri	0,6	148° 40'	60° 28' S
61	ANTARES	$\alpha$ -Scorpii	1,0	112° 19'	26° 29' S
49	SPICA	$\alpha$ -Virginis	1,0	158° 25'	11° 16' S
78	FOMALHAUT	$\alpha$ -Piscis australis	1,2	015° 17'	29° 31' S
43	ACRUX	$\alpha$ -Crucis	1,3	173° 03'	63° 13' S

**Tabelle 2:** Die zehn hellsten Fixsterne der südlichen Himmelshalbkugel (2021)

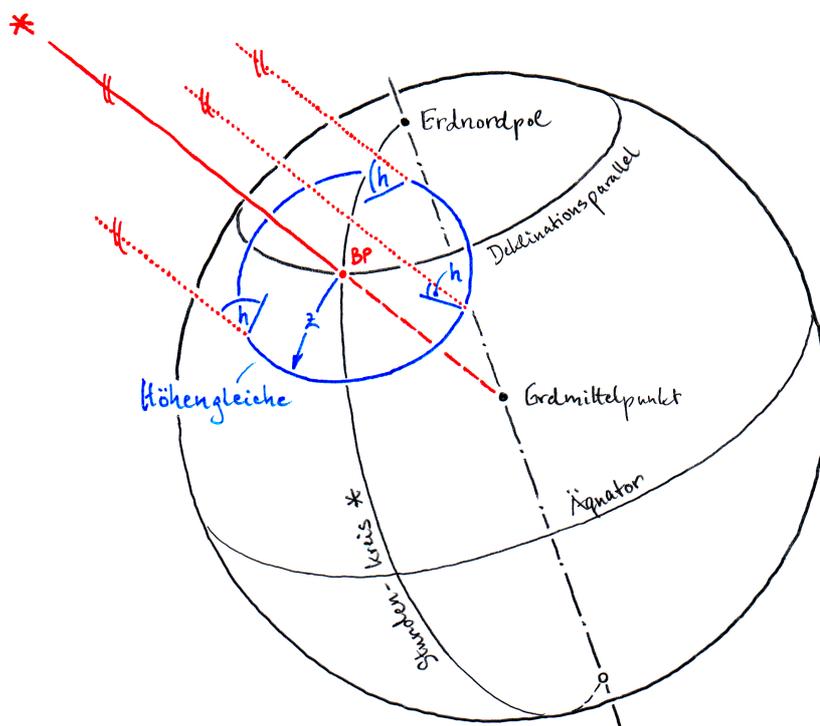
# VA-A11 Konstruktion der Standlinie

**Vorbemerkung:** Der Unterschied zwischen dem allgemeiner gehaltenen Begriff des **geißten Ortes**  $O_g$  (*estimated position, EP*) und dem **Koppelort**  $O_k$  (*dead reckoning position, DR*) ist weitgehend theoretischer Natur. Die folgenden Erklärungen verwenden den geißten Ort, was aber den Koppelort stets miteinschließt.

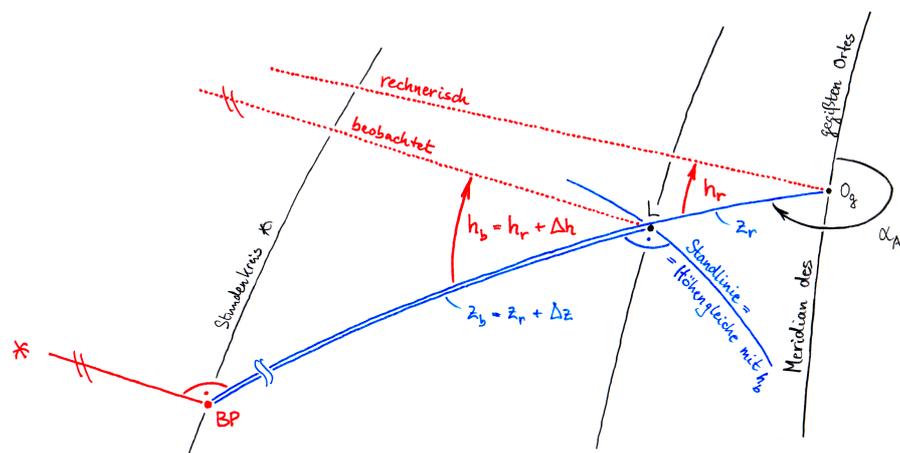
Höhe  $h$  und Zenitdistanz  $z$  eines Gestirns sind Komplementärwinkel auf  $90^\circ$ . Die Zenitdistanz errechnet sich demnach durch

$$z = 90^\circ - h. \tag{21}$$

Die Standlinie, die sich aufgrund der Höhenbeobachtung eines Gestirns ergibt, ist demzufolge ein sphärischer Kleinkreis mit der Zenitdistanz  $z$  als Radius! Diese Erkenntnis (1837) geht auf den amerikanischen Kapitän THOMAS SUMNER (1807 - 1876) zurück. Adm. BLOND DE MARCO ST. HILAIRE entwickelte daraus das nach ihm benannte Höhenverfahren mit dem geißten Ort als „Stützpunkt“ in der Seekarte.



**Bild 21:** Die Höhengleiche ist ein Kleinkreis um den Bildpunkt (BP) mit der Zenitdistanz als Radius!



**Bild 22:** Höhe und Zenitdistanz (beobachtet/rechnerisch), Azimut und Standlinie in räumlicher Darstellung

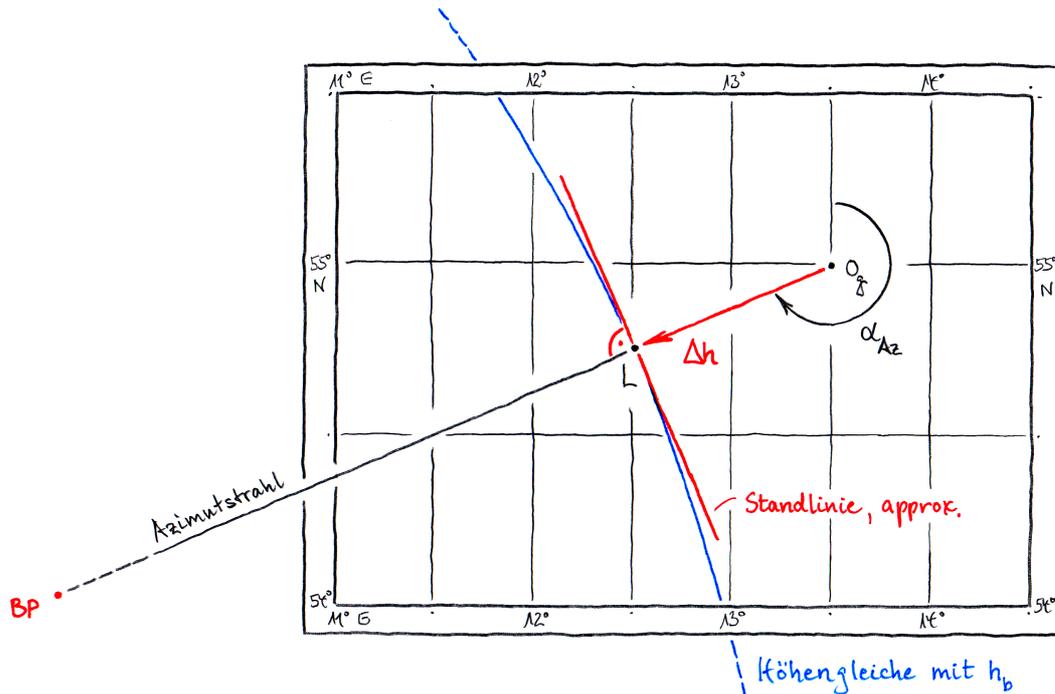


Bild 23: Höhendifferenz, Azimut und Standlinie in der MERCATOR-Karte (hier:  $\Delta h > 0$ )

#### Verfahrensanleitung:

- **Gegißten Ort** oder **Rechenort** (je nachdem, welcher Ort zuvor in einem der Verfahren nach  $\rightarrow$  VA-A06 ... 09 Anwendung fand!) in Seekarte oder MERCATOR-Netz einzeichnen.
- An diesen mit Hilfe des Kursdreiecks den Azimutstrahl anbringen. Dabei bedenke man vor- teilhafterweise gleich das Vorzeichen der **Höhendifferenz**  $\Delta h$ :
  - Für  $\Delta h > 0$  zeichnet man die Linie zum Gestirn hin, also in die Richtung, die durch  $\alpha_{Az}$  tatsächlich beschrieben wird.
  - Im umgekehrten Fall mit  $\Delta h < 0$  gehört die Linie auf die gestirnsabgewandte Seite. Das ist die Richtung des „Gegen“-Azimuts ( $\alpha_{Az} \pm 180^\circ$ ).
- Auf dem Breitenmaßstab von Seekarte oder MERCATOR-Netz mit dem Kartenzirkel das Maß  $\Delta h$  (Großkreis-Minuten) abgreifen und vom gegißten bzw. rechnerischen Ort gezählt auf den Azimutstrahl antragen. Damit ist der **Leitpunkt L** gegeben (siehe Bild 23).
- Im Leitpunkt L die Senkrechte zum Azimutstrahl errichten. Das ist die **Standline** der zugehörigen Höhenbeobachtung!
- Astronomische Standlinien können mit anderen astronomischen wie auch terrestrischen Standlinien kombiniert werden. Entscheidend ist ein nicht zu spitzer Schnittwinkel (vorzugweise  $> 30^\circ$ ).

## VA-A12 Zwei astronomische Standlinien

Zwei gleichzeitige astronomische Höhenbeobachtungen sind tagsüber möglich mit Sonne und Mond zur Halbmondzeit, mitunter auch mit Sonne und Venus. In der Dämmerung ist Beobachtung von mehreren Fixsternen die Regel. In letzten Verfahrensanweisung **VA-A11** wurde deutlich, daß eine astronomische Höhenbeobachtung einen Kreis als Standlinie erzeugt, ähnlich wie die terrestrische Höhenmessung ( $\rightarrow$  **VA-T03/06**). Es gibt allerdings einen wesentlichen Unterschied: während Landmarken wie z.B. Leuchtfeuer ortsfest sind, so bewegen sich die Bildpunkte von Gestirnen mit der Geschwindigkeit von Düsenflugzeugen. Dennoch lassen sich zwei astronomisch erzeugte Standlinien in Kreisgestalt genauso kombinieren wie in  $\rightarrow$  **VA-T10**. Es geht hier also um ein „sphärisches Bogenschlag-Verfahren“.

### Verfahrensanweisung 1:

- Beide Höhenbeobachtungen getrennt rechnen und die beiden Standlinien in Seekarte oder MERCATOR-Netz einzeichnen.
- Schnittpunkt ist **wahrer Ort**  $O_w$ , in die Seekarte einzeichnen, mit Uhrzeit versehen!

### Verfahrensanweisung 2:

- Für beide Höhenbeobachtungen die Werte von  $h_{b,1}$  und  $h_{b,2}$  nach (6) ermitteln ( $\rightarrow$  **VA-A02**).
- Mit den beiden beobachteten Höhen die sphärisch-trigonometrische Berechnung nach •[7], Abschnitt C.3 durchführen.
- Ergebnis ist der **wahrer Ort**  $O_w$  in Gestalt der Koordinaten  $\varphi$ ,  $\lambda$ . In die Seekarte einzeichnen, mit Uhrzeit versehen!

### Verfahrensanweisung 3:

- Für beide Höhenbeobachtungen die Werte von  $h_{b,1}$  und  $h_{b,2}$  nach (6) ermitteln ( $\rightarrow$  **VA-A02**).
- Die beiden beobachteten Höhen jeweils anstelle von  $h_r$  in (12) einsetzen:

$$\begin{aligned}\sin h_{b,1} &= \sin \varphi \sin \delta_1 + \cos \varphi \cos \delta_1 \cos[t_{Gr,1} + \lambda], \\ \sin h_{b,2} &= \sin \varphi \sin \delta_2 + \cos \varphi \cos \delta_2 \cos[t_{Gr,2} + \lambda].\end{aligned}\tag{22}$$

Das sind 2 Gleichungen für **2 Unbekannte**. Allerdings gibt es dafür weder eine analytische Lösung noch überhaupt eine eindeutige Lösung.

- Da zwei sich schneidende Kreise immer auch zwei Schnittpunkte haben, gibt es vielmehr zwei Lösungen.
- Numerische Lösung mit geißten Ortskoordinaten als Anfangswerten ist möglich. Es gibt Apps auf Mobiltelefonen und Tablets dazu (z.B. **Vector Solutions of 2 COP's** by **ANDRÉS RUIZ GONZALÉZ** auf [Google Play Store](#)).
- Ergebnis ist der **wahre Ort**  $O_w$  in Gestalt der Koordinaten  $\varphi$ ,  $\lambda$ . In die Seekarte einzeichnen, mit Uhrzeit versehen!

## VA-A13 Gebrauch der MERCATOR-Netze

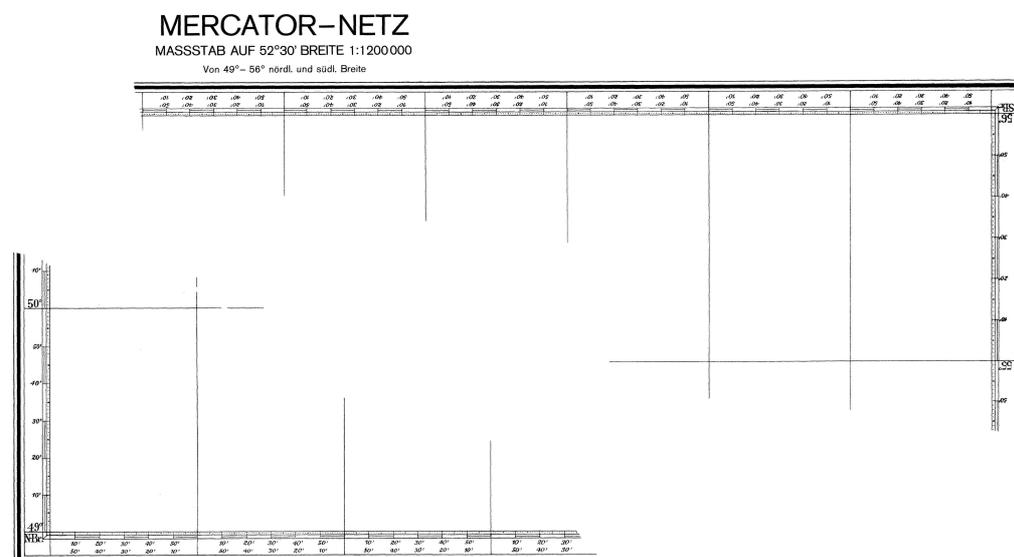
Die **Konstruktion astronomischer Standlinien** (→ VA-A11) findet sinnvollerweise in Seekarten von nicht zu kleinem Maßstab statt, wie sie als *Küstenkarten* oder *Segelkarten* den größten Teil eines jeden Seekartenwerkes ausmachen.

*Übersichts-* und *Ozeankarten* mit ihren recht kleinen Maßstäben sind dazu ungeeignet, da die Konstruktion der Standlinie dann in „Briefmarkengröße“ ausfällt, was dem nautischen Erkenntnisgewinn eher wenig zuträglich ist. Gleichwohl findet die Astronomische Navigation aber vorzugsweise auf hoher See statt, wo es verständlicherweise keine großmaßstäblichen Seekarten gibt. Was sollte darin auch enthalten sein – außer ein paar uninteressanten Wassertiefen? Daher gibt es „Karten“, die nichts außer dem Koordinatengitter enthalten, **Leerkarten**, **MERCATOR-Netze** oder *Plotting Sheets* genannt.

Zur universellen Einsetzbarkeit derselben sind darauf **keine Längenangaben** vorgesehen. Die müssen zum Gebrauch jeweils aktuell festgelegt und mit Bleistift eingetragen werden. Anders sieht es bei den Breitenangaben aus. Die sind in jeder Leerkarte sehr wohl festgelegt, und zwar für N-Breiten auf dem einen Kartenrand und für S-Breiten auf dem anderen, so daß die Karte für die jeweils andere Halbkugel nur um 180° gedreht werden muß. Der Grund für die **festgelegten Breitenangaben** auf jeder Leerkarte liegt in der besonderen Eigenschaft der MERCATOR-Abbildung (siehe [8], Abschnitt 2.3.3) des polwärts wachsenden Maßstabs. So ist es denn unumgänglich, einen Satz von Leerkarten in angemessener Breitenstaffelung vorzusehen.

Auf [www.franka-maria.de](http://www.franka-maria.de) sind **14 Leerkarten** für die folgenden Breiten zum kostenlosen Download bereitgestellt<sup>3</sup>:

Karte	Breite	Format
Mercator-Netz-01	1° S(N) bis 6° N(S)	655,0 × 740,7 mm
Mercator-Netz-02	4° N(S) bis 11° N(S)	654,0 × 743,7 mm
Mercator-Netz-03	9° N(S) bis 16° N(S)	645,0 × 747,3 mm
Mercator-Netz-04	14° N(S) bis 21° N(S)	633,1 × 747,4 mm
Mercator-Netz-05	19° N(S) bis 26° N(S)	614,8 × 743,7 mm
Mercator-Netz-06	24° N(S) bis 31° N(S)	678,2 × 748,3 mm
Mercator-Netz-07	29° N(S) bis 36° N(S)	649,6 × 747,1 mm
Mercator-Netz-08	34° N(S) bis 41° N(S)	693,1 × 748,5 mm
Mercator-Netz-09	39° N(S) bis 46° N(S)	650,0 × 749,0 mm
Mercator-Netz-10	44° N(S) bis 51° N(S)	666,7 × 749,8 mm
Mercator-Netz-11	49° N(S) bis 56° N(S)	667,3 × 750,5 mm
Mercator-Netz-12	54° N(S) bis 61° N(S)	650,0 × 751,0 mm
Mercator-Netz-13	59° N(S) bis 66° N(S)	659,7 × 750,8 mm
Mercator-Netz-14	64° N(S) bis 71° N(S)	610,5 × 726,9 mm



<sup>3</sup> Alternativ BA D6321 ... D6343 von British Admiralty, M 1:675 000

## Teil C — Ergänzungen



## VA-E01 Astronomische Kompaßkontrolle I

Das Höhenverfahren nach VA-A06...08 liefert ja gewissermaßen „gratis“ den Azimut der Sonne – zu beliebiger Zeit. Dennoch sollte man darauf achten, daß zum Zeitpunkt der Peilung der Sonne dieselbe nicht zu hoch steht (vorzugsweise  $h < 30^\circ$ ), die Peilung findet schließlich in der Horizontalebene statt!

### Verfahrensanleitung:

- Auf **Kreisel-** oder **Magnetkompaß** geeignetes Peildiopter aufsetzen und **Sonne** bei nicht zu großer Höhe (vorzugsweise  $h < 30^\circ$ ) ggf. unter Verwendung des Schwarzspiegels mittig anpeilen. Die Kreiselpeilung  $KrP^\odot$  bzw. Magnetpeilung  $MgP^\odot$  mit zugehöriger Uhrzeit notieren.
- Für die Zeit der Peilung Ephemeriden der Sonne bereitstellen und zusammen mit dem wahren Ort  $O_w$  oder Koppelort  $O_k$  den Azimut  $\alpha_{Az^\odot} \equiv rwP^\odot$  unter Verwendung von

$$h = \arcsin[\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t], \quad (12)$$

$$Z_\odot = \arccos\left[\frac{\sin \delta - \sin h \sin \varphi}{\cos h \cos \varphi}\right] \quad (13)$$

und

$$\alpha_{Az^\odot} = \begin{cases} 360^\circ - Z & \text{für } t = t_W \in [0^\circ, 180^\circ], \\ Z & \text{für } t = 360^\circ - t_E \in [180^\circ, 360^\circ] \end{cases} \quad (14)$$

ausrechnen. Alternativ kann hier das Taschenrechnerprogramm **1-HAZ** zum Einsatz kommen.

- Beim **Kreiselkompaß** ergibt sich daraus das **Kreisel-R** bzw. die (auf Beobachtung beruhende) **Kreiselfehlweisung**

$$\begin{aligned} KrR &= \alpha_{Az^\odot} - KrP^\odot - Ff \\ KrFw_b &= \alpha_{Az^\odot} - KrP^\odot \end{aligned}, \quad (23)$$

wobei das für Kurs- und Peilungsverwandlungen benötigte **Kreisel-A** daraus als Mittelwert

$$KrA = \overline{KrR}$$

mehrerer Werte des Kreisel-R folgt.

- Beim **Magnetkompaß** ergibt sich die (auf Beobachtung beruhende) **Ablenkung** (Deviation) zu

$$\begin{aligned} Abl_b &= \alpha_{Az^\odot} - MgP^\odot - Mw \\ &= \alpha_{Az^\odot} - mwP^\odot \end{aligned}, \quad (24)$$

womit die Werte der Deviationstabelle überprüft werden können. Man bedenke aber, daß deren Eingangsgröße der Magnetkurs  $MgK$  ist (nicht etwa die Magnetpeilung  $MgP$ )!



Bild 24: Kompaßkontrolle



Bild 25: Schwarzspiegel

## VA-E02    Astronomische Kompaßkontrolle II

Zweimal am Tag kann der Azimut der Sonne auf besonders einfache Weise bestimmt werden, und zwar im **wahren Horizont** beim Auf- und Untergang. Dazu ist keine genaue Uhrzeit nötig, da der Zustand „im wahren Horizont“ aufgrund der Sonnenhöhe über dem sichtbaren Horizont leicht festgestellt werden kann. Wie in •[7] erklärt, folgt für die Augeshöhe von  $Ah = 7\text{ m}$  ein Kimmabstand des Sonnenunterrandes von  $KA = 20'$ . Das sind ziemlich genau  $2/3$  des Sonnendurchmessers. Unter Nautikern ist dafür der Begriff „Dackelsonne“ aufgekommen, weil unter der Sonne gerade noch ein Dackel „durchpaßt“.

### Verfahrensweisung:

- Auf **Kreisel-** oder **Magnetkompaß** geeignetes Peildiopter aufsetzen und **Sonne im wahren Horizont** ggf. unter Verwendung des Schwarzsiegels mittig anpeilen. Die Kreiselpeilung  $KrP_{\odot}$  bzw. Magnetpeilung  $MgP_{\odot}$  mit zugehöriger Uhrzeit notieren.
- Für die Zeit der Peilung Deklination  $\delta$  der Sonne (notfalls mit den groben Werten von S. 68) und Koppelbreite  $\varphi$  bereitstellen und den Azimut  $\alpha_{Az_{\odot}} \equiv rwP_{\odot}$  unter Verwendung von

$$Z_{\odot} = \arccos \left[ \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \right], \quad \varphi \neq \pm 90^{\circ} \quad (13)$$

und

„Dackelsonne“

$$\alpha_{Az_{\odot}} = \begin{cases} \arccos \left[ \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \right] & \text{(Aufgang)} \\ 360^{\circ} - \arccos \left[ \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \right] & \text{(Untergang)} \end{cases} \quad (25)$$

ausrechnen.

- Beim **Kreiselkompaß** ergibt sich daraus das **Kreisel-R** bzw. die (auf Beobachtung beruhende) **Kreiselfehlweisung**

$$\begin{aligned} KrR &= \alpha_{Az_{\odot}} - KrP_{\odot} - Ff \\ KrFw_b &= \alpha_{Az_{\odot}} - KrP_{\odot} \end{aligned}, \quad (26)$$

wobei das für Kurs- und Peilungsverwandlungen benötigte **Kreisel-A** daraus als Mittelwert

$$KrA = \overline{KrR}$$

mehrerer Werte des Kreisel-R folgt.

- Beim **Magnetkompaß** ergibt sich die (auf Beobachtung beruhende) **Ablenkung** (Deviation) zu

$$\begin{aligned} Abl_b &= \alpha_{Az_{\odot}} - MgP_{\odot} - Mw \\ &= \alpha_{Az_{\odot}} - mwP_{\odot} \end{aligned}, \quad (27)$$

womit die Werte der Deviationstabelle überprüft werden können. Man bedenke aber, daß deren Eingangsgröße der Magnetkurs  $MgK$  ist (nicht etwa die Magnetpeilung  $MgP$ )!

- Die Zeiten (**wahre Ortszeit!**) für den **Auf-/Untergang der Sonne** ( $h = 0$ ) können mithilfe von  $t/\text{Ortszeit} \approx 12\text{ Uhr} \pm \frac{1h}{15^{\circ}} \arccos [-\tan \varphi \tan \delta]$

abgeschätzt werden, siehe auch das Diagramm „Sonnenzeit“ im Anhang, S. 68/69. Dieses Zeitintervall zwischen Sonnenaufgang und -untergang kann als symmetrisch um den Kulminationszeitpunkt angesehen werden.

## VA-E03 Großkreisnavigation I

Die Großkreisnavigation ist erforderlich für Reisen im transozeanischen Maßstab, für die auf MERCATOR-KARTEN nicht mehr sinnvoll navigiert werden kann. An die Stelle der Loxodrome (Kursgleiche) tritt nun die Orthodrome (Großkreis). Es gilt somit:

**Die mathematische Grundlage der Großkreisnavigation ist die Sphärische Trigonometrie der Erdkugel (wie bei der Astronomischen Navigation)!**

Gegeben seien hier der **Abfahrtsort A** sowie der **Bestimmungsort B** nach geographischer Breite und Länge. **Gesucht wird die Großkreisdistanz  $d_{\text{GK}}$  und der Anfangskurs  $\alpha_{\text{AK}}$ .**

### Verfahrensweisung:

- Gegebene geographische Koordinaten dezimalisieren

$$\begin{aligned} \text{(z.B. Abfahrtsort Brest)} \quad \varphi_A &= 48^\circ 16' \text{ N} = 48,2667^\circ \\ &\lambda_A = 004^\circ 49' \text{ W} = -4,8167^\circ, \\ \text{Bestimmungsort Cayenne} \quad \varphi_B &= 04^\circ 59' \text{ N} = 4,9833^\circ \\ &\lambda_B = 052^\circ 22' \text{ W} = -52,3667^\circ. \end{aligned}$$

- Großkreisdistanz**

$$d_{\text{GK}} = \frac{60 \text{ sm}}{1^\circ} \arccos[\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos[\lambda_B - \lambda_A]] \quad (28)$$

ausrechnen.

- Für die Orthodrome  $A \rightarrow B$  folgt der **Anfangskurs** zu

$$\alpha_{\text{AK}} = \begin{cases} Z_{\text{AK}} & \text{für } \lambda_B > \lambda_A \text{ (E-liche Kurse)}, \\ 360^\circ - Z_{\text{AK}} & \text{für } \lambda_B < \lambda_A \text{ (W-liche Kurse)} \end{cases}$$

mit

$$Z_{\text{AK}} = \arccos \left[ \frac{\sin \varphi_B - \cos d^\circ \sin \varphi_A}{\sin d^\circ \cos \varphi_A} \right], \quad \varphi_A \neq \pm 90^\circ \quad (29)$$

$$d^\circ = \arccos[\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos[\lambda_B - \lambda_A]].$$

Man beachte, daß  $d^\circ$  die Großkreisdistanz in Grad $^\circ$  ist, also letztlich dasselbe wie (28) – nur ohne den Faktor  $\frac{60 \text{ sm}}{1^\circ}$ . Man muß das also nicht zweimal rechnen!

oder

- Taschenrechnerprogramm **4-KRSDST** aufrufen. (alle Eingaben mit jeweils EXE bestätigen!)
- Koordinaten des Abfahrtsortes **1** (statt „A“) eingeben (Rechner:  $\varphi_1 = 48.16$ ,  $\lambda_1 = -4.49$ ).
- Koordinaten des Bestimmungsortes **2** (statt „B“) eingeben (Rechner:  $\varphi_2 = 4.59$ ,  $\lambda_2 = -52.22$ ).
- Ergebnis als Großkreisdistanz  $d$  ( $\equiv d_{\text{GK}}$ ) und Anfangskurs  $\alpha_1$  ( $\equiv \alpha_{\text{AK}}$ ) zur Kenntnis nehmen (Rechner:  $d = 3550.52$ ,  $\alpha_1 = 238.87$ ).

## VA-E04 Großkreisnavigation II

Die Großkreisnavigation ist erforderlich für Reisen im transozeanischen Maßstab, für die auf MERCATOR-KARTEN nicht mehr sinnvoll navigiert werden kann. An die Stelle der Loxodrome (Kursgleiche) tritt nun die Orthodrome (Großkreis). Es gilt somit:

**Die mathematische Grundlage der Großkreisnavigation ist die Sphärische Trigonometrie der Erdkugel (wie bei der Astronomischen Navigation)!**

Gegeben seien hier der **Abfahrtsort A**, die **Großkreisdistanz**  $d_{\text{GK}}$  und der **Anfangskurs**  $\alpha_{\text{AK}}$ .  
Gesucht werden die **geographischen Koordinaten des Bestimmungsortes B**.

### Verfahrensweisung:

- Gegebene geographische Koordinaten dezimalisieren

$$\begin{aligned} \text{(z.B. Abfahrtsort Brest)} \quad \varphi_A &= 48^\circ 16' \text{ N} = 48,2667^\circ \\ \lambda_A &= 004^\circ 49' \text{ W} = -4,8167^\circ, \\ \text{Großkreisdistanz} \quad d_{\text{GK}} &= 3550,52 \text{ sm} \\ \text{Anfangskurs} \quad \alpha_{\text{AK}} &= 238,87^\circ. \end{aligned}$$

- Für den **Bestimmungsort B** der Orthodrome  $A \rightarrow B$  gilt

$$\begin{aligned} \varphi_B &= \arcsin[\sin \varphi_A \sin d^* + \cos \varphi_A \cos d^* \cos \alpha_{\text{AK}}] \\ \lambda_B &= \begin{cases} \lambda_A + \Delta\lambda \text{ für } \alpha_{\text{AK}} < 180^\circ & \text{(E-liche Kurse)}, \\ \lambda_A - \Delta\lambda \text{ für } \alpha_{\text{AK}} > 180^\circ & \text{(W-liche Kurse)} \end{cases} \\ \text{mit} & \\ \Delta\lambda &= \arccos \left[ \frac{\sin d^* - \sin \varphi_A \sin \varphi_B}{\cos \varphi_A \cos \varphi_B} \right], \quad \varphi_A, \varphi_B \neq \pm 90^\circ \\ d^* &= 90^\circ - d_{\text{GK}} \frac{1^\circ}{60 \text{ sm}} \end{aligned} \tag{30}$$

oder

- Taschenrechnerprogramm **5-ZIEL** aufrufen. (alle Eingaben mit jeweils EXE bestätigen!)
- Koordinaten des Abfahrtsortes **1** (statt „A“) eingeben (Rechner:  $\varphi_1 = 48.16$ ,  $\lambda_1 = -4.49$ ).
- Großkreisdistanz  $d_{\text{GK}} (\equiv d)$  und Anfangskurs  $\alpha_{\text{AK}} (\equiv \alpha_1)$  eingeben (Rechner:  $d = 3550.52$ ,  $\alpha_1 = 238.87$ ).
- Ergebnis als Koordinaten des Bestimmungsortes **2** (statt „B“) zur Kenntnis nehmen (Rechner:  $\varphi_2 = 4.59$ ,  $\lambda_2 = -52.22$ ).

# VA-E05 Besteckrechnung I, Vergrößerte Breite

Die Besteckrechnung ist die analytische Entsprechung der zeichnerischen Navigation in der MERCATOR-Karte. Die Kurslinie zwischen Abfahrtsort A und Bestimmungsort B besteht in einer Loxodrome (= Kursgleiche) und erscheint in der MERCATOR-Karte bekanntlich als Gerade. Die Besteckrechnung findet ihre Anwendung in der küstennahen und mittleren Fahrt, wo die Großkreisrechnung (noch) nicht erforderlich ist. Es gilt somit:

**Die mathematische Grundlage der Besteckrechnung ist die ebene Trigonometrie der MERCATOR-Karte!**

## Zweite Aufgabe der Besteckrechnung

Gegeben seien der **Abfahrtsort A** sowie der **Bestimmungsort B** nach geographischer Breite und Länge. **Gesucht wird die (loxodromische) Distanz  $d_{\text{Lox}} =: d$  und der (loxodromische) Kurs  $\alpha_{\text{Lox}} =: \alpha$ .**

### Verfahrensanleitung:

- Gegebene geographische Koordinaten dezimalisieren

$$\begin{aligned} \text{(z.B. Abfahrtsort Lohme/Rügen)} \quad \varphi_A &= 54^\circ 35,2' \text{ N} = 54,5867^\circ \\ &\lambda_A = 013^\circ 36,4' \text{ E} = 13,6067^\circ, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bestimmungsort} \quad \varphi_B &= 55^\circ 23,0' \text{ N} = 55,3833^\circ \\ \text{Kåseberga/Skāne (SE)} \quad \lambda_B &= 014^\circ 04,0' \text{ E} = 14,0667^\circ. \end{aligned}$$

- Äquatormeridiandistanz** (das ist die (dimensionslose) Anzahl der Meridionalteile!)

$$\ell/\text{sm} = (\lambda_B - \lambda_A) \frac{60}{1^\circ} \quad (31)$$

und Differenz der **Vergrößerten Breiten** von Abfahrts- und Bestimmungsort entsprechend

$$\Delta\Phi = \Phi(\varphi_B) - \Phi(\varphi_A) = \frac{10800}{\pi} \ln \left[ \frac{\tan[\varphi_B/2 + 45^\circ]}{\tan[\varphi_A/2 + 45^\circ]} \right] \quad (32)$$

ausrechnen **oder** die einzelnen Werte der Vergrößerten Breiten  $\Phi(\varphi_B)$  und  $\Phi(\varphi_A)$  aus **Tafel 13** in [1] **oder** **Tafel 5** aus [2] entnehmen und anschließend subtrahieren.

- Distanz in Anzahl/Meridionalteile**

$$d_{\text{Mer}} = \sqrt{(\ell/\text{sm})^2 + \Delta\Phi^2} \quad (\text{„PYTHAGORAS“}) \quad (33)$$

ausrechnen.

- Das Ergebnis nach **Kurs**

$$\alpha = 2 \arctan \left[ \frac{d_{\text{Mer}} - \Delta\Phi}{\ell/\text{sm}} \right], \quad \ell \neq 0 \quad (\text{Halbwinkelformel für den Tangens}) \quad (34)$$

und **Distanz** (in **Seemeilen!**)

$$d = \frac{b}{\cos \alpha} = \frac{(\varphi_B - \varphi_A) \frac{60 \text{ sm}}{1^\circ}}{\cos \alpha}, \quad \alpha \neq 90^\circ, 270^\circ \quad (35)$$

ermitteln.

**oder**

- Taschenrechnerprogramm **7-VBKRS**D aufrufen. (alle Eingaben mit jeweils **EXE** bestätigen!)
- Koordinaten des Abfahrtsortes **1** (statt „A“) eingeben (**Rechner:  $\varphi_1 = 54.352$ ,  $\lambda_1 = 13.364$** ).
- Koordinaten des Bestimmungsortes **2** (statt „B“) eingeben (**Rechner:  $\varphi_2 = 55.230$ ,  $\lambda_2 = 14.040$** ).
- Ergebnis als (loxodromischen) Kurs  $\alpha$  ( $\equiv \alpha_{\text{Lox}}$ ) und (loxodromische) Distanz  $d$  ( $\equiv d_{\text{Lox}}$ ) zur Kenntnis nehmen (**Rechner:  $\alpha = 18.33$ ,  $d = 50.36$** ).

## VA-E06 Besteckrechnung II, Vergrößerte Breite

Die Besteckrechnung ist die analytische Entsprechung der zeichnerischen Navigation in der MERCATOR-Karte. Die Kurslinie zwischen Abfahrtsort A und Bestimmungsort B besteht in einer Loxodrome (= Kursgleiche) und erscheint in der MERCATOR-Karte bekanntlich als Gerade. Die Besteckrechnung findet ihre Anwendung in der küstennahen und mittleren Fahrt, wo die Großkreisrechnung (noch) nicht erforderlich ist. Es gilt somit:

**Die mathematische Grundlage der Besteckrechnung ist die ebene Trigonometrie der MERCATOR-Karte!**

### Erste Aufgabe der Besteckrechnung

Gegeben seien der **Abfahrtsort A**, die (loxodromische) **Distanz**  $d_{\text{Lox}} =: d$  und der (loxodromische) **Kurs**  $\alpha_{\text{Lox}} =: \alpha$ . **Gesucht werden die geographischen Koordinaten des Bestimmungsortes B.**

### Verfahrensanleitung:

- Gegebene geographische Koordinaten dezimalisieren.

$$\begin{aligned} \text{(z.B. Abfahrtsort Lohme)} \quad \varphi_A &= 54^\circ 35,2' \text{ N} = 54,5867^\circ \\ \lambda_A &= 013^\circ 36,4' \text{ W} = 13,6067^\circ, \\ \text{Distanz} \quad d &= 50,36 \text{ sm} \\ \text{Kurs} \quad \alpha &= 18,33^\circ. \end{aligned}$$

- Mit der **Breitendistanz**  $b = d \cos \alpha$  (in **Seemeilen!**) die **Bestimmungsbreite**

$$\varphi_B = \varphi_A + \frac{b}{\frac{60 \text{ sm}}{1^\circ}} = \varphi_A + \frac{d \cos \alpha}{\frac{60 \text{ sm}}{1^\circ}} \quad (36)$$

ermitteln.

- Differenz der **Vergrößerten Breiten** von Abfahrts- und Bestimmungsort entsprechend

$$\Delta\Phi = \Phi(\varphi_B) - \Phi(\varphi_A) = \frac{10800}{\pi} \ln \left[ \frac{\tan[\varphi_B/2 + 45^\circ]}{\tan[\varphi_A/2 + 45^\circ]} \right] \quad (32)$$

ausrechnen **oder** die einzelnen Werte der Vergrößerten Breiten  $\Phi(\varphi_B)$  und  $\Phi(\varphi_A)$  aus **Tafel 13** in [1] **oder** **Tafel 5** aus [2] entnehmen und anschließend subtrahieren.

- Mit der **Äquatormeridiandistanz**  $\ell/\text{sm} = \Delta\lambda/1'$  die **Bestimmungslänge**

$$\lambda_B = \lambda_A + \frac{\ell}{\frac{60 \text{ sm}}{1^\circ}} = \lambda_A + \frac{\Delta\Phi \tan \alpha}{\frac{60}{1^\circ}}, \quad \alpha \neq 90^\circ, 270^\circ \quad (37)$$

ausrechnen.

- Koordinaten  $\varphi_B$  und  $\lambda_B$  des Bestimmungsortes in Nautische Form zurückverwandeln.

**oder**

- Taschenrechnerprogramm **8-VBZIEL** aufrufen. (alle Eingaben mit jeweils **EXE** bestätigen!)
- Koordinaten des Abfahrtsortes **1** (statt „A“) eingeben (Rechner:  $\varphi_1 = 54.352$ ,  $\lambda_1 = 13.364$ ).
- (Loxodromischen) Kurs  $\alpha_{\text{Lox}} (\equiv \alpha)$  und (loxodromische) Distanz  $d_{\text{Lox}} (\equiv d)$  eingeben (Rechner:  $\alpha = 18.33$ ,  $d = 50.36$ ).
- Ergebnis als Koordinaten des Bestimmungsortes **2** (statt „B“) zur Kenntnis nehmen (Rechner:  $\varphi_2 = 55.230$ ,  $\lambda_2 = 14.040$ ).

# VA-E07 Stromnavigation

Die **Stromdreiecke** repräsentieren die relativkinematischen Verhältnisse zwischen einem Fahrzeug, das sich mit dem **Fahrtvektor**  $\vec{v}_{Wa}$  relativ zum Wasser bewegt, und der Wasser-Umgebung, die wiederum mit dem **Stromvektor**  $\vec{v}_{St}$  relativ zum Seegrund (also zum erdfesten Bezugssystem) strömt. Beide Vektoren lassen sich durch Vektoraddition zum **Fahrtvektor über Grund**

$$\boxed{\vec{v}_G = \vec{v}_{Wa} + \vec{v}_{St} = \vec{v}_{St} + \vec{v}_{Wa}} \quad (\text{Kommutativgesetz der Vektoraddition}) \quad (38)$$

überlagern, womit die Dreiecksfigur aus den drei beteiligten Vektoren festliegt. Da alle drei Vektoren als Geschwindigkeitsvektoren in der Horizontalebene vorliegen, genügt jeweils neben dem Betrag nur eine Richtungsangabe. Im einzelnen gilt

$$\vec{v}_G \hat{=} (\text{FüG, KüG}),$$

$$\vec{v}_{Wa} \hat{=} (\text{FdW, KdW}),$$

$$\vec{v}_{St} \hat{=} (\text{StG, StR})$$

mit der Stromgeschwindigkeit StG und der Stromrichtung StR. Die übrigen Größen sind aus dem Abschnitt *Formelzeichen* (siehe S. 6 ff.) bekannt.

In der nautischen Praxis existieren drei **Stromaufgaben**, die sich lediglich dadurch unterscheiden, daß jeweils andere Größen bekannt bzw. gesucht sind. Das Stromdreieck ist in jedem Fall das gleiche! Üblich ist die zeichnerische Lösung.

## 1. Stromaufgabe:

**gegeben:** Fahrt und Kurs durchs Wasser (FdW, KdW) (aufgrund von Kompaß und Logge),  
Stromgeschwindigkeit und -richtung (StG, StR) (aufgrund von Stromatlas o.ä.),

**gesucht:** Fahrt und Kurs über Grund (FüG, KüG).

### Verfahrensanweisung

- Auf Blanko-Papier zeichne man eine vertikale Referenzlinie für rWN,
- anschließend mit Hilfe des Zeichendreiecks die Kurslinie des KdW antragen.
- Maßstab der Geschwindigkeit festlegen (z.B. 1 kn = 2 cm), Papiergröße ausnutzen!
- FdW auf der Kurslinie abtragen. Damit steht der Vektorpfeil  $\vec{v}_{Wa}$  fest.
- Mit der gleichen Vorgehensweise (unter Beibehaltung des Geschwindigkeitsmaßstabs!) nun den Stromvektor  $\vec{v}_{St}$  an die Pfeilspitze des  $\vec{v}_{Wa}$  „anhängen“. Damit ist die Vektoraddition erfolgt.
- Das Vektordreieck wird nun geschlossen, so daß der Vektor zwischen Ursprung und Pfeilspitze des  $\vec{v}_{St}$  vorliegt.
- FüG und KüG der Zeichnung entnehmen.

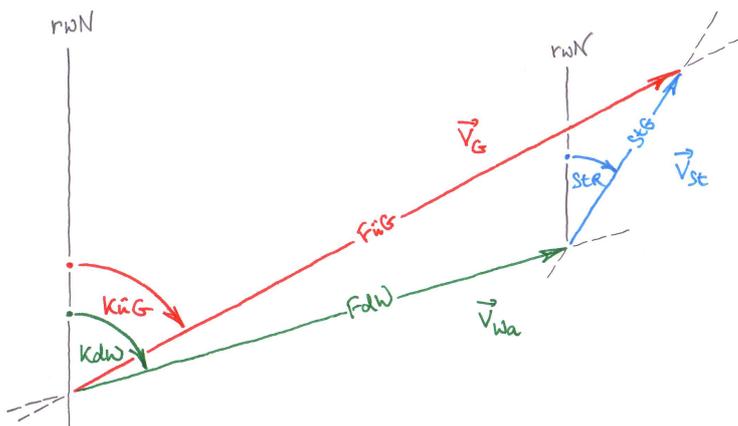


Bild 26: 1. Stromaufgabe

## 2. Stromaufgabe:

**gegeben:** Stromgeschwindigkeit und -richtung (aufgrund von Stromatlas o.ä.)  
 (angestrebter) Kurs über Grund (Das ist der Kartenkurs !)  
 (gesegelte) Fahrt durchs Wasser

**gesucht:** Kurs durchs Wasser (KdW) (zur weiteren Umrechnung in einen Kompaßkurs)  
 Fahrt über Grund (FüG) (zur Berechnung der Fahrtdauer)

### Verfahrensanleitung

- Auf Blanko-Papier zeichne man eine vertikale Referenzlinie für  $r_{WN}$ ,
- anschließend mit Hilfe des Zeichendreiecks die Kurslinie des KüG.
- Maßstab der Geschwindigkeit festlegen (z.B. 1 kn = 2 cm), Papiergröße ausnutzen!
- Im Ursprung den Stromvektor  $\vec{v}_{St}$  entsprechend StR und StG antragen.
- Die FdW maßstabsgerecht in den Zirkel nehmen, denselben an der Spitze von  $\vec{v}_{St}$  einpieken und den Bogenschlag über die KüG-Linie ausführen.
- Pfeilspitze des Stromvektors  $\vec{v}_{St}$  mit Schnittpunkt von Bogenschlag und KüG-Linie verbinden. Die Richtung dieser Geraden repräsentiert den KdW. Den KdW der Zeichnung entnehmen.
- Der Schnittpunkt von Bogenschlag und KüG-Linie ist gleichzeitig die Spitze des Vektors  $\vec{v}_G$ . FüG der Zeichnung entnehmen!

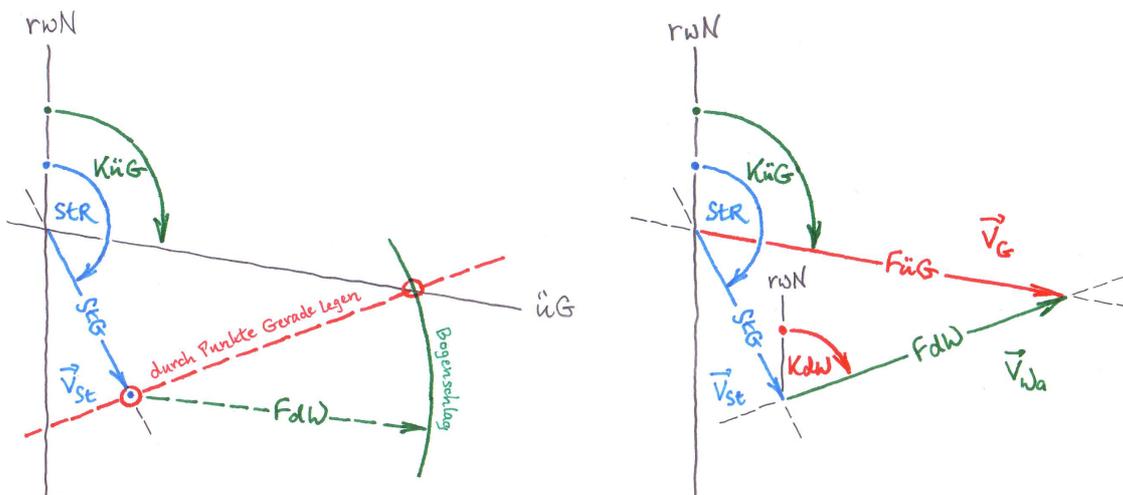


Bild 27: 2. Stromaufgabe

## 3. Stromaufgabe:

**gegeben:** Fahrt und Kurs über Grund (FüG, KüG),  
 Fahrt und Kurs durchs Wasser (FdW, KdW),

**gesucht:** Stromgeschwindigkeit und -richtung (StG, StR).

### Verfahrensanleitung

- Auf Blanko-Papier zeichne man eine vertikale Referenzlinie für  $r_{WN}$ ,
- anschließend mit Hilfe des Zeichendreiecks die Kurslinie des KüG antragen.
- Maßstab der Geschwindigkeit festlegen (z.B. 1 kn = 2 cm), Papiergröße ausnutzen!

- FüG auf der Kurslinie abtragen. Damit steht der Vektorpfeil  $\vec{v}_G$  fest.
- Nun mit Hilfe des Zeichendreiecks die Kurslinie des KdW antragen.
- FdW auf der Kurslinie abtragen. Damit steht der Vektorpfeil  $\vec{v}_{Wa}$  fest.
- Das Vektordreieck wird nun geschlossen, so daß der Vektor  $\vec{v}_{St}$  zwischen den Pfeilspitzen von  $\vec{v}_{Wa}$  und  $\vec{v}_G$  vorliegt. Und zwar in genau der Orientierung, daß
 
$$\vec{v}_{Wa} + \vec{v}_{St} = \vec{v}_G$$
 erfüllt wird.
- StG und StR der Zeichnung entnehmen.

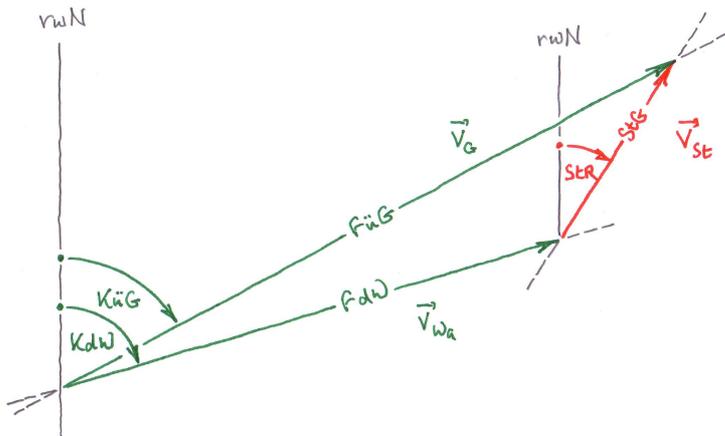


Bild 28: 3. Stromaufgabe

## VA-E08 Umrechnung scheinbarer/wahrer Wind

Der **scheinbare Wind** (*apparent/relative wind*) mit seinem Geschwindigkeitsvektor  $\vec{u}_B$  ist derjenige Wind, welcher vom Beobachter an Bord (Index B) wahrgenommen wird. Die ihn bestimmenden Größen sind der Geschwindigkeitsbetrag  $u_B$  in **kn** und die durch  $\alpha_B$  gegebene Richtung (gegen rechtweisend Nord). An Bord besitzt der scheinbare Wind ferner den Einfallswinkel  $R$  relativ zur Rechtsvorrichtung, gemessen von  $-180^\circ \dots 180^\circ$ , wobei **positive (negative)** Werte für Windeinfall von **Stb (Bb)** stehen.<sup>4</sup> Die Größen  $u_B$  und  $R$  werden durch Anemometer und Windfahne (Flögel) ermittelt – zumeist mit digitaler Abtastung. Für Segelschiffe ist der scheinbare Wind zudem die wesentliche Realität, da dieser für die Segelstellung maßgeblich ist.

Gleichwohl gibt es Gründe, den **wahren Wind** (*true wind*) zu ermitteln. Dieser ist einerseits ins Schiffstagebuch einzutragen, andererseits Bestandteil von meteorologischen Meldungen (Schiffsobse) von Bord. Weiterhin beschränkt der wahre Wind die Kurse, die „hoch am Wind“ realisierbar sind. Der Geschwindigkeitsvektor des wahren Windes  $\vec{u}_G$  (Index G steht für „über Grund“) bestimmt sich durch seinen Geschwindigkeitsbetrag  $u_G$  in **kn** sowie seine durch  $\alpha_G$  gegebene Richtung (gegen rechtweisend Nord). Bei  $\alpha_G$  (wie auch schon bei  $\alpha_B$ ) ist aber zu beachten, daß es sich dabei um die (Vektor-)Richtung handelt, in welche der wahre Wind „strömt“ (vgl. Stromversetzung). Von alters her wird die Windrichtung aber mit derjenigen Richtung identifiziert, aus welcher der Wind kommt. Maßgeblich im Bordalltag ist daher die Gegenrichtung  $\alpha_G^* = \alpha_G \pm 180^\circ$ .

Für ein ruhendes Schiff (vor Anker, auf Grund etc.) sind scheinbarer und wahrer Wind identisch. Somit ist klar, daß die dritte maßgebliche Größe in der **Schiffsbewegung über Grund**, also in dem Geschwindigkeitsvektor  $\vec{v}_G$ , besteht. Die hier bestimmenden Größen sind die **Fahrt über Grund**  $v_G$  (oder FüG) und der **Kurs über Grund** KüG. Bei Windstille erfährt der Beobachter an Bord – ohne Berücksichtigung von Grenzschicht-Effekten – den scheinbaren Wind als **Fahrtwind**

$$\vec{u}_F \approx -\vec{v}_G .$$

Die Relativkinematik liefert

$$\vec{u}_G = \vec{v}_G + \vec{u}_B \quad \text{oder} \quad \vec{u}_B = \vec{u}_G - \vec{v}_G = \vec{u}_G + \vec{u}_F \quad (39)$$

bzw. in E/N-Komponentengleichungen

$$\begin{aligned} u_G \sin \alpha_G &= v_G \sin [\text{KüG}] + u_B \sin \alpha_B , \\ u_G \cos \alpha_G &= v_G \cos [\text{KüG}] + u_B \cos \alpha_B . \end{aligned} \quad (39a,b)$$

Weiterhin ist die (auf rwN bezogene) **Richtung des scheinbaren Windes**  $\alpha_B$  nach Bild 29 durch

$$\begin{aligned} \alpha_B &= \underbrace{\text{rwK}} + R \pm 180^\circ \\ &= \underbrace{\text{KüG} - \text{BW} - \text{BS}} + R \pm 180^\circ \end{aligned} \quad \text{mit} \quad \begin{cases} \sin \alpha_B = -\sin [\text{rwK} + R] \\ \cos \alpha_B = -\cos [\text{rwK} + R] \end{cases} \quad (40)$$

zu berechnen. Quadrieren (jeweils) und Addieren von (39a,b) liefert zunächst

$$u_G = \sqrt{(v_G \sin [\text{KüG}] + u_B \sin \alpha_B)^2 + (v_G \cos [\text{KüG}] + u_B \cos \alpha_B)^2}$$

und unter Anwendung der Additionstheoreme einschließlich (40) schlußendlich die **Geschwindigkeit des wahren Windes** (Wind über Grund) zu

$$\begin{aligned} u_G &= \sqrt{v_G^2 + u_B^2 - 2 v_G u_B \cos [R + \text{rwK} - \text{KüG}]} \\ &= \sqrt{v_G^2 + u_B^2 - 2 v_G u_B \cos [R - \text{BW} - \text{BS}]} . \end{aligned} \quad (41)$$

Die **Richtung, aus welcher der wahre Wind weht**, ergibt sich aus der Halbwinkelformel für den Tangens ( $\tan[\alpha_G/2] = (1 - \cos \alpha_G)/\sin \alpha_G$ ) mit (39a,b) zu

$$\alpha_G^* = 2 \arctan \left[ \frac{u_G - v_G \cos [\text{KüG}] + u_B \cos [\text{rwK} + R]}{v_G \sin [\text{KüG}] - u_B \sin [\text{rwK} + R]} \right] \pm 180^\circ . \quad (42)$$

<sup>4</sup> Wie bei der Seitenpeilung, vgl. [8], Abschnitt 2.4.5

**Bemerkung:** In der Navigationliteratur für die Berufsschifffahrt wird der Einfluß von Abdrift und Strom in dieser Rechnung oft vernachlässigt ( $BW, BS \approx 0$ ). Dann steht anstelle von (41) die aus dem Cosinussatz der ebenen Trigonometrie abgeleitete Formel

$$u_G \approx \sqrt{v_G^2 + u_B^2 - 2v_G u_B \cos R} . \quad (41a)$$

Bei Großseglern ist aber die Abdrift oft beträchtlich, so daß zumindest die Beschickung/Wind  $BW$  in (40) ... (42) schon Berücksichtigung finden sollte.

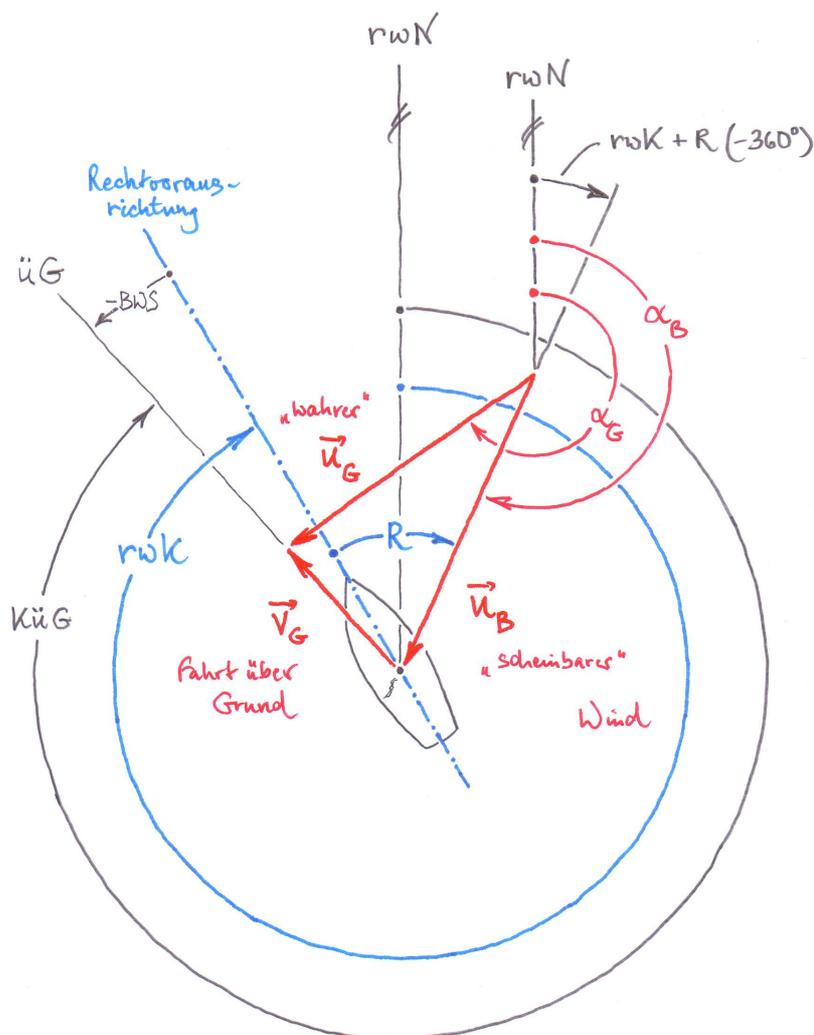
Die nach (41) ermittelte Windgeschwindigkeit  $u_G$  läßt sich bei Bedarf auch in **Windstärken** nach BEAUFORT umrechnen mit der Formel

$$\text{bft} = \text{int} \left[ \left( \frac{0,5144 u_G/\text{kn} - 0,07}{0,834} \right)^{0,669} + 0,37 \right] , \quad (43)$$

wobei der Operator  $\text{int}[\dots]$  (= *integer part*, ganzzahliger Anteil) für die Abrundung auf die (betragsweise) nächstkleinere ganze Zahl steht. Für überschlägige Berechnungen steht sonst auch die Faustformel

$$\text{bft} \approx \frac{u_G/\text{kn} + 5}{5} = \frac{u_G/\text{kn}}{5} + 1 \quad (\text{eingeschränkt auf } u_G \leq 35 \text{ kn oder bft} \leq 8) \quad (43a)$$

zur Verfügung.



**Bild 29:** Zur Umrechnung des scheinbaren Windes in den wahren Wind

Die Berechnung der Größen des wahren Windes kann nun mit Taschenrechner manuell nach den Gleichungen (41) ... (43) erfolgen, wobei gegebenenfalls von

$$\text{KüG} = \text{rwK} + \text{BW} + \text{BS} \quad (\text{vgl. Merkschema, S. 7})$$

Gebrauch zu machen ist (siehe Beispiel 2). Alternativ läßt sich das Programm **9-WIND** anwenden.

### Beispiel 1

Geschwindigkeit des scheinbaren Windes:	$u_B = 9,1 \text{ kn} \rightarrow u_B [\text{kn}] = 9.1$
Windeinfall an Bord:	$R = 55^\circ \text{ Stb} \rightarrow R [^\circ] = 55$
Fahrt über Grund:	$v_G = 6,0 \text{ kn} \rightarrow v_G [\text{kn}] = 6.0$
Kurs über Grund:	$\text{KüG} = 315^\circ \rightarrow \text{KüG} [^\circ] = 315$
rechtweisender Kurs:	$\text{rwK} = 325^\circ \rightarrow \text{rwK} [^\circ] = 325$
Geschwindigkeit des wahren Windes:	$u_G = 8.524 \rightarrow u_G = 8,5 \text{ kn}$
Windstärke des wahren Windes:	$\text{Bft} = 3 \rightarrow \text{Bft} = 3$
Windrichtung (woher?):	$\alpha_{G^*} [^\circ] = 59.6 \rightarrow \alpha_{G^*} = 060^\circ$ $\hat{=} \text{NEzE}$

### Beispiel 2

Geschwindigkeit des scheinbaren Windes:	$u_B = 22 \text{ kn} \rightarrow u_B [\text{kn}] = 22.0$
Windeinfall an Bord:	$R = 125^\circ \text{ Bb} \rightarrow R [^\circ] = -125$
Fahrt über Grund:	$v_G = 7,8 \text{ kn} \rightarrow v_G [\text{kn}] = 7.8$
Beschickung/Wind:	$\text{BW} = 14^\circ$
Kurs über Grund:	$\text{rwK} + \text{BW} = \text{KüG} = 111^\circ \rightarrow \text{KüG} [^\circ] = 111$
rechtweisender Kurs:	$\text{rwK} = 097^\circ \rightarrow \text{rwK} [^\circ] = 97$
Geschwindigkeit des wahren Windes:	$u_G = 28.352 \rightarrow u_G = 28,4 \text{ kn}$
Windstärke des wahren Windes:	$\text{Bft} = 7 \rightarrow \text{Bft} = 7$
Windrichtung (woher?):	$\alpha_{G^*} [^\circ] = 321.6 \rightarrow \alpha_{G^*} = 322^\circ$ $\hat{=} \text{NWzN}$

## VA-E09 Relingslogge

Die Messung der **Fahrt durchs Wasser** FdW ist bekanntlich auf sehr einfache Weise mit Hilfe eines über Bord gegebenen Gegenstands, einer in Kielrichtung abgemessenen Strecke sowie einer Stoppuhr möglich. Dabei kommt die Längeneinheit **Meridiantertie** mit der Abkürzung **mtr** zum Einsatz. Es ist  $1 \text{ mtr} = 0,5144 \text{ m}$ .

- Einen (wertlosen) schwimmfähigen, umweltverträglichen und gut sichtbaren Körper (z.B. Stück Holz, Bananenschale, etc.) besorgen.
- Eine Person am **Anfang der Meßstrecke** mit ebendiesem Gegenstand postieren.
- Eine zweite Person am **Ende der Meßstrecke** mit Stoppuhr postieren. Die Meßstrecke muß bekannt sein.
- Die Person vorne wirft den Gegenstand ein Stück weit vorlicher als den Anfangspunkt der Meßstrecke ins Wasser.
- Mit Passieren des Anfangspunktes wird ein Zeichen gegeben, so daß die zweite Person die Stoppuhr startet.
- Mit Passieren des Endpunktes stoppt die zweite Person die Zeit, die der Gegenstand für das Durchlaufen der Meßstrecke gebraucht hat.
- die Auswertung erfolgt gemäß der Zahlenwert-Formel

$$\text{FdW/kn} = \frac{\text{Meßstrecke/mtr}}{\text{Zeit/s}} \approx \frac{1}{2} \frac{\text{Meßstrecke/m}}{\text{Zeit/s}} \quad (44)$$

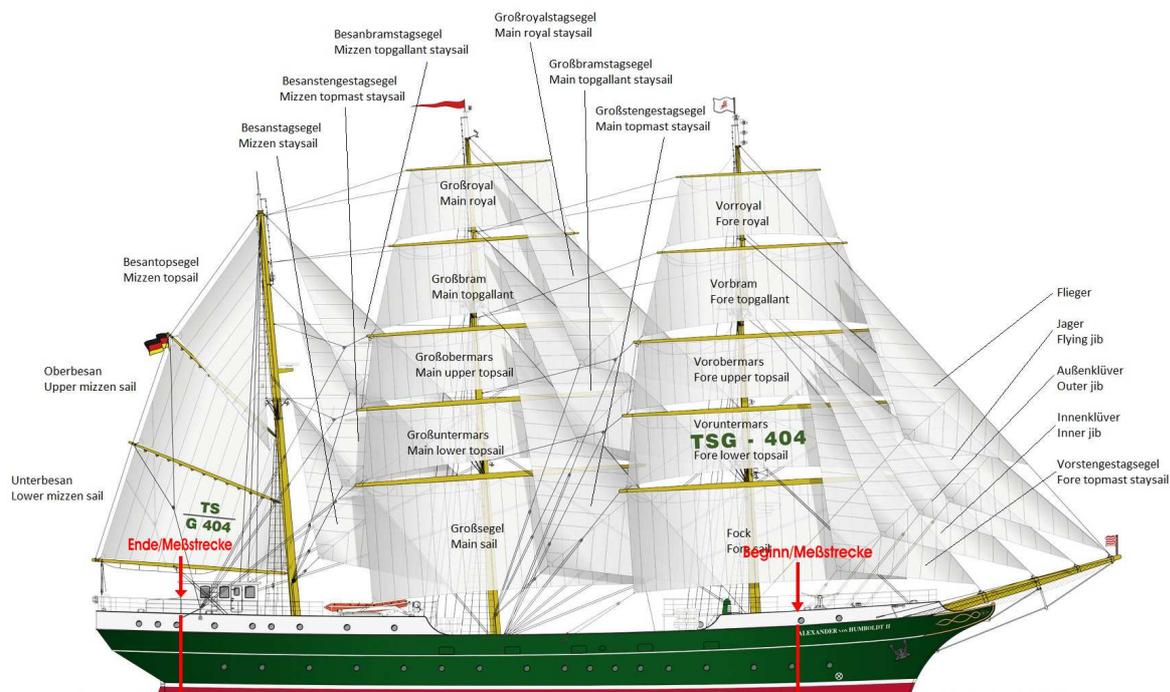


Bild 30: Meßstrecke zur Relingslogge (am Beispiel der ALEXANDER v. HUMBOLDT II)

# VA-E10 Gebrauch des Taschenrechners

## CASIO *fx-9860GII SD*

Das Manual für den *fx-9860GII SD* u.a. ist auf <https://world.casio.com/manual/calc/> erhältlich. Die folgenden nautischen Programme sind im Rahmen dieser Anleitung verfügbar:

- **1-HAZ Höhen und Azimut** (→ VA-A07/VA-E01)  
**Eingabe:** Ortsstundenwinkel  $t$  ( $t = ?$ ), Breite  $\varphi$  ( $\varphi = ?$ ), Deklination  $\delta$  ( $\delta = ?$ )  
**Ausgabe:** (Rechnerische) Höhe  $h_r$  bzw. allgemein  $h$  ( $h =$ ), Azimut  $\alpha$  ( $\alpha_{Az} =$ )
- **2-EPHEME Ephemeriden für Sonne und Aries** (→ VA-A05)  
**Eingabe:** Jahr ( $Jahr = ?$ ), Monat ( $Monat = ?$ ), Tag ( $Tag = ?$ ), Zeit ( $UT1 [hh.mmss] = ?$ )  
**Ausgabe:** **Sonne:** Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr}$  ( $t_{Gr} =$ ), Deklination  $\delta$  ( $\delta =$ )  
**Aries:** Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr\Upsilon}$  ( $t_{Gr\Upsilon} =$ )
- **3-IDEFIX Identifikation von Fixsternen** (→ VA-A10)  
**Eingabe:** Azimut ( $\alpha_{Az} [ddd.d] = ?$ ), beobachtete Höhe ( $h_b [dd.mm] = ?$ ),  
Breite ( $\varphi [dd.mm] \approx ?$ ), Länge ( $\lambda [dd.mm] \approx ?$ ), Jahr ( $Jahr = ?$ ),  
Monat ( $Monat = ?$ ), Tag ( $Tag = ?$ ), Zeit ( $UT1 [hh.mmss] = ?$ )  
**Ausgabe:** Sternwinkel ( $\beta =$ ), Deklination ( $\delta =$ ),
- **4-KRSDST Kurs & Distanz / Großkreis** (→ VA-E03)  
**Eingabe:** Abfahrtsbreite  $\varphi_A$  ( $\varphi_1 = ?$ ), Abfahrtslänge  $\lambda_A$  ( $\lambda_1 = ?$ ),  
Bestimmungsbreite  $\varphi_B$  ( $\varphi_2 = ?$ ), Bestimmungslänge  $\lambda_B$  ( $\lambda_2 = ?$ ),  
**Ausgabe:** Großkreisdistanz  $d_{GK} \equiv d$  ( $d =$ ), Anfangskurs  $\alpha_{AK} \equiv \alpha_1$  ( $\alpha_1 =$ )
- **5-ZIEL Bestimmungsort/Großkreis (Zielort)** (→ VA-E04)  
**Eingabe:** Abfahrtsbreite  $\varphi_A$  ( $\varphi_1 = ?$ ), Abfahrtslänge  $\lambda_A$  ( $\lambda_1 = ?$ ),  
Anfangskurs  $\alpha_{AK} \equiv \alpha_1$  ( $\alpha_1 =$ ), Großkreisdistanz  $d_{GK} \equiv d$  ( $d =$ )  
**Ausgabe:** Bestimmungsbreite  $\varphi_B$  ( $\varphi_2 =$ ), Bestimmungslänge  $\lambda_B$  ( $\lambda_2 =$ )
- **6-VB-PHI Berechnung der Vergrößerten Breite  $\Phi(\varphi)$**   
**Eingabe:** Geographische Breite  $\varphi$  ( $\varphi = ?$ )  
**Ausgabe:** **Sphärisch:** Vergrößerte Breite  $\Phi$  ( $\Phi =$ )  
**WGS-84:** Vergrößerte Breite  $\Phi$  ( $\Phi =$ )
- **7-VBKRSD Vergrößerte Breite, Kurs & Distanz** (→ VA-E05)  
**Eingabe:** Abfahrtsbreite  $\varphi_A$  ( $\varphi_1 = ?$ ), Abfahrtslänge  $\lambda_A$  ( $\lambda_1 = ?$ ),  
Bestimmungsbreite  $\varphi_B$  ( $\varphi_2 = ?$ ), Bestimmungslänge  $\lambda_B$  ( $\lambda_2 = ?$ ),  
**Ausgabe:** (loxodromischer) Kurs  $\alpha_{Lox} \equiv \alpha$  ( $\alpha =$ ), (loxodromische) Distanz  $d_{Lox} \equiv d$  ( $d =$ )
- **8-VBZIEL Vergrößerte Breite, Bestimmungsort (Zielort) ...** (→ VA-E06)  
**Eingabe:** Abfahrtsbreite  $\varphi_A$  ( $\varphi_1 = ?$ ), Abfahrtslänge  $\lambda_A$  ( $\lambda_1 = ?$ ),  
(loxodromischer) Kurs  $\alpha_{Lox} \equiv \alpha$  ( $\alpha =$ ), (loxodromische) Distanz  $d_{Lox} \equiv d$  ( $d =$ )  
**Ausgabe:** Bestimmungsbreite  $\varphi_B$  ( $\varphi_2 =$ ), Bestimmungslänge  $\lambda_B$  ( $\lambda_2 =$ )
- **9-WIND Scheinbarer Wind → wahrer Wind** (→ VA-E08)  
**Eingabe:**  $u_B$  ( $u_B [kn] = ?$ ),  $R$  ( $R [^\circ] = ?$ ),  $v_G$  ( $v_G [kn] = ?$ ),  $KüG$  ( $KüG [^\circ] = ?$ ),  
 $rwK$  ( $rwK [^\circ] = ?$ )  
**Ausgabe:**  $u_G$  ( $u_G [kn] =$ ),  $Bft$  ( $Bft =$ ),  $\alpha_G^*$  ( $\alpha_G \star [^\circ] =$ )

### Achtung! Ein- und Ausgabeformate beachten!

Größen, die normalerweise in **Nautischer Form** (wie  $\varphi, \lambda, \delta, \beta, t, h$ ) vorliegen, werden am Rechner als **Pseudo-Dezimalform (d)dd.mmm** ein-/ausgegeben, z.B.  $36^\circ 18,7' \rightarrow 36.187$ .

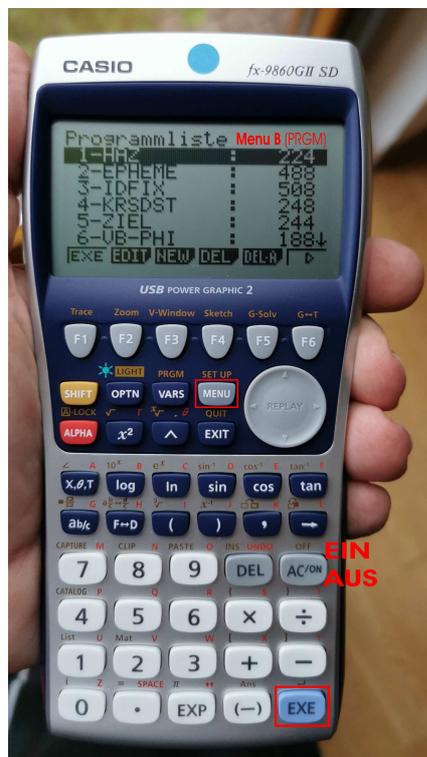
**Uhrzeiten** (wie UT1) werden am Rechner in **hh.mmss** eingegeben, z.B.  $18.07.32 \rightarrow 18.0732$ .

Alle anderen Größen (wie  $\alpha, \alpha_{Az}, \Phi, b, d, \ell, Z$ , Kurse, Peilungen, etc.) sind und bleiben Dezimalgrößen mit mehr oder weniger Nachkommastellen, etwa **ddd.ddd**, **ddd.d00** oder **ddd**.

Wenn nach dem Einschalten die **Programmliste** nicht erscheint, dann die Taste „**Menu**“ drücken und anschließend „**(ALPHA) B**“

oder

mit dem Cursor das **Menue B (PRGM)** markieren und anschließend die Taste „**EXE**“ drücken.



Dann erscheint die **Programmliste**. Mit dem Cursor nun gewünschtes **Programm** markieren und wiederum die Taste „**EXE**“ drücken.

Für gewöhnliche Rechenaufgaben die Taste „**Menu**“ drücken und anschließend „**1**“

oder

mit dem Cursor das **Menue 1 (RUN·MAT)** markieren und anschließend die Taste „**EXE**“ drücken.



Nach jeder Benutzung eines Programms so oft die Taste „**EXE**“ drücken, bis die Programmliste wieder erscheint. Sollte man versehentlich auf die Ebene der Programmzeilen geraten, sofort „**EXIT**“ drücken, bevor im Programm Fehler generiert werden.

Zum Neuladen der **Programme** (Backup) von Hauptspeicher oder SD-Karte in **Menu F (Memory)** gehen, „**F4: Backup**“ drücken, anschließend „**F2: Backup laden**“ und Auswahl treffen zwischen **Massenspeicher :[1]** oder **SD-Karte :[2]**.

## Teil D — „Blauer Schrank“



### Idee und Konzept des Blauen Schrankes

Die Idee zum **Blauen Schrank** erwächst aus der Tatsache, daß auf vielen Schiffen vom Containerschiff bis zu den Sportbooten heutzutage die Navigationsinstrumente, die keiner Ausrüstungspflicht mehr unterliegen, nur noch sporadisch anzutreffen sind.

Der Blaue Schrank wurde auf der Bark **Alexander v. Humboldt II** im Rahmen des Cyber-Risk-Managements nach ISM-Codes entwickelt. Der Schrank ist mit den wichtigsten, nicht-ortsfesten Instrumenten bestückt, die zur Konventionellen Navigation notwendig sind. Da das Schiff mit ehrenamtlichen Nautiker(inne)n gefahren wird, die zu jeder Reise wechseln, ist der Schrank nur über einen Schlüsselkasten mit einschlagbarer Scheibe zugänglich. So wird sichergestellt, daß trotz ständig wechselnder Besatzung immer alles am Platz ist. Gleichwohl finden sich die nautischen Instrumente ein zweites Mal auf der Brücke, wo sie regulär und zu Ausbildungszwecken gebraucht werden.

# Sinnvoller Inhalt des Blauen Schrank

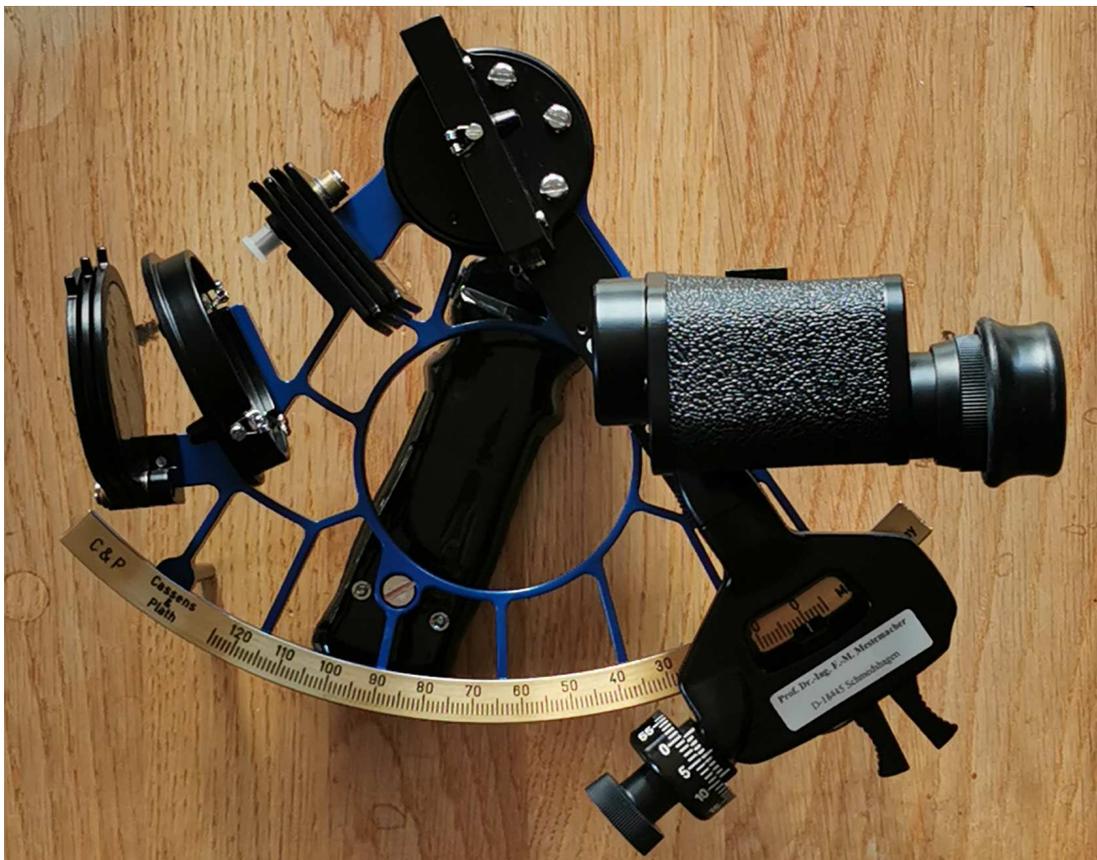


## Peildiopfer für Magnetkompaß



Peildiopfer mit Schattenstift im Kasten. Aber Kartenzirkel und Zirkel passen auch noch hinein.

Sextant, z.B. CASSENS & PLATH, 6-faches Fernrohr



Chronometer, z.B. MÜHLE/Glashütte



Mechanische Stoppuhr, z.B. HANHART

Taschenrechner, z.B. CASIO *fx-9860GII SD*



Für weitere Informationen siehe **VA-E10** und die Programme im Anhang, ab S. 70 ff.

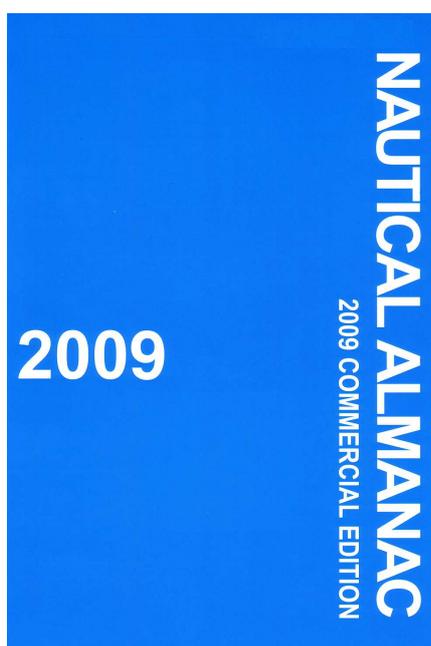
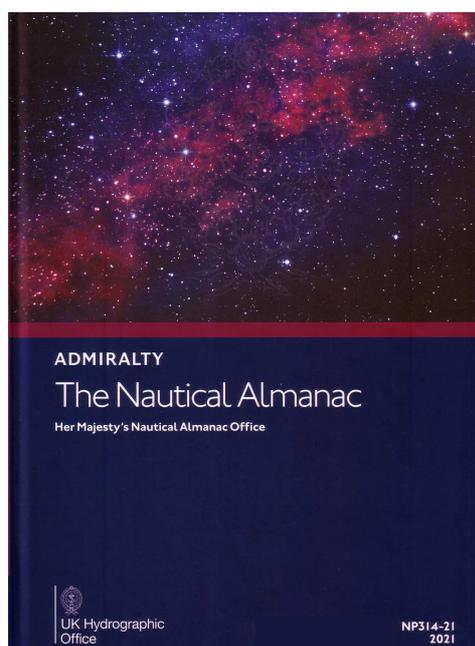
Der Preis für den **CASIO *fx-9860GII SD*** liegt in der Größenordnung von 100 €. Eine dazu passende solide Tasche ist für den Bordbetrieb sinnvoll. Die gespeicherten Programme können auf einer SD-Karte gespeichert werden, sofern der Rechner den Typenzusatz „SD“ trägt.

Die Nachfolgeversion ***fx-9860GIII*** hat keinen SD-Schacht mehr. Hier (wie auch beim *fx-9860GII* mit und ohne „SD“) läßt sich aber per USB-Kabel eine Verbindung zum PC herstellen, so daß die Programme übertragen werden können.

Die Programme können grundsätzlich aber auch von Hand eingegeben werden (siehe Anhang). Bei den einfacheren CASIO-Rechner geht das auch nicht anders. Die alphanumerischen Möglichkeiten dort sind aber viel primitiver. Die Programme müssen dementsprechend angepaßt werden.

## Literatur

- [1] MESTEMACHER, F.-M.: *Nautische Tafeln*. Auszug aus [2] mit neuen Erklärungen von Franka-Maria Mestemacher. Als pdf-Datei zum kostenlosen Download auf [www.franka-maria.de](http://www.franka-maria.de). Stralsund 2019
  - [2] LÜTJEN; STEIN; ZWIEBLER: *Fulst Nautische Tafeln*. Arthur Geist Verlag, Bremen 1981
  - [3] BLANCE, GEORGE: *Norie's Nautical Tables*. Imray, Laurie, Norie & Wilson, St. Ives (Cambridgeshire, UK) 2007
  - [4] *Nautical Almanac 20xx*. UK Hydrographic Office, Taunton (Somerset, UK) 20xx  
oder  
*Nautical Almanac 20xx*. Commercial Edition, Paradise Cay Publications, Arcata CA (USA) 20xx
  - [5] KOLBE, GEOFFREY: *Long Term Almanac 2000-2050*. 2. Edition. Starpath Publications, Seattle WA (USA) 2008
  - [6] A.P. 3270: *Rapid Sight Reduction Tables for Navigation*. Vol. 1-3. UK Hydrographic Office, Taunton (Somerset, UK) 2017-19
  - [7] MESTEMACHER, F.-M.: *Astronomische Navigation*. 3. Auflage. Kruse, Stralsund 2018
  - [8] MESTEMACHER, F.-M.: *Terrestrische Navigation*. iVb
  - [9] NP100 – The Mariner's Handbook. 12. Edition. UK Hydrographic Office, Taunton (Somerset, UK) 2020
  - [10] Royal Navy (UK): *The Admiralty Manual of Navigation*. Vol. 1, The Principals of Navigation (BRd 45(1)). The Nautical Institute, London 2019
  - [11] Royal Navy (UK): *The Admiralty Manual of Navigation*. Vol. 2, Astro Navigation (BRd 45(2)). The Nautical Institute, London 2018
  - [12] SCHENK, BOBBY: *Yachtnavigation*. Verlag Delius, Klasing & Co, Bielefeld 2006
- [DIN 13312] ,  
DIN 13312:2005-02, Navigation – Begriffe, Abkürzungen, Formelzeichen, graphische Symbole



# Anhang

## Erläuterungen zum nebenstehenden Diagramm „Sonnenzeit“

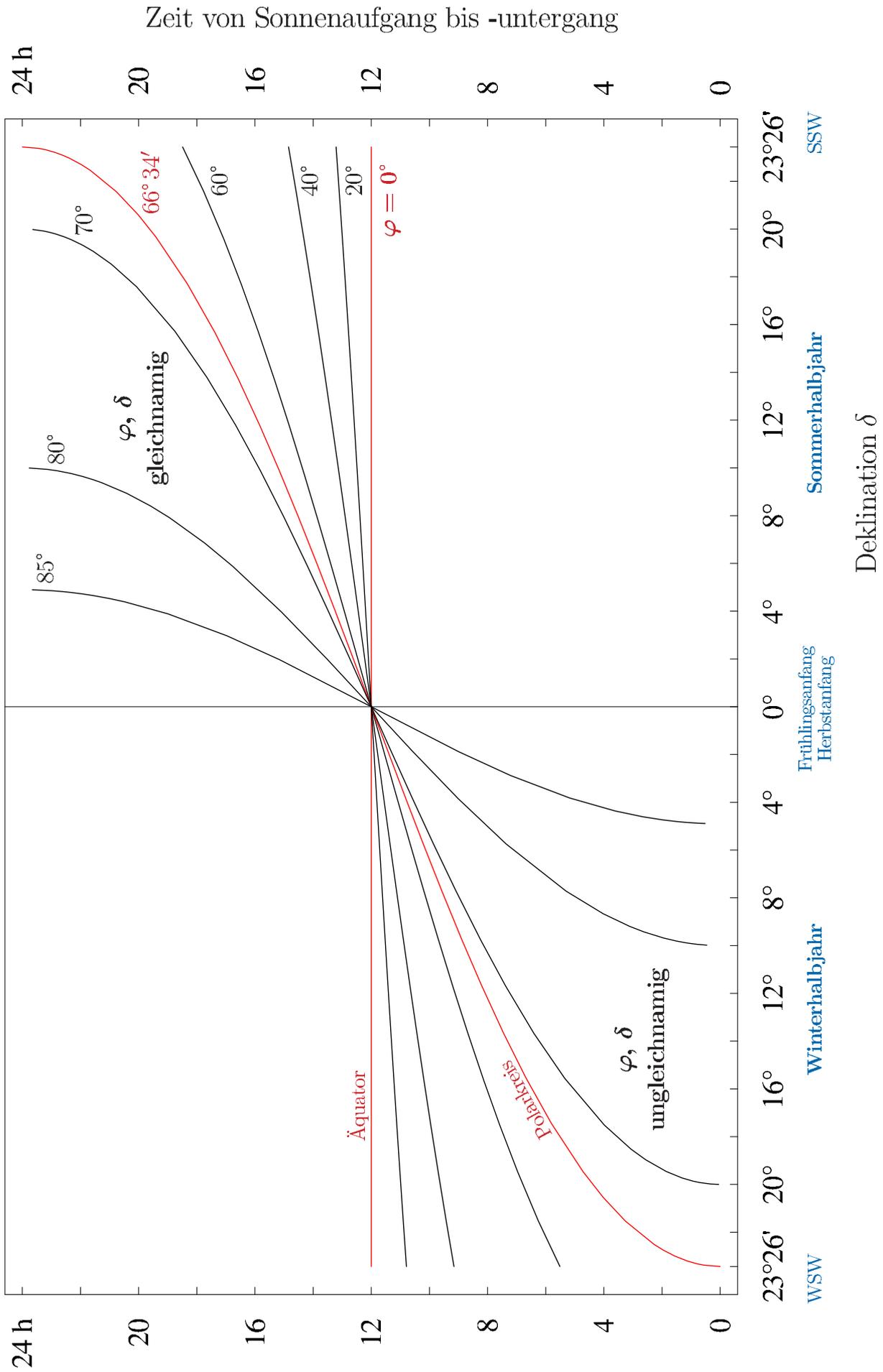
Zur Ermittlung der Zeit zwischen Sonnenaufgang und -untergang ist als erstes festzustellen, ob der fragliche Zeitpunkt im Sommer- oder Winterhalbjahr liegt. Dabei zu berücksichtigen, daß „Sommer“ stets auf der derjenigen Halbkugel ist, auf der auch die Sonne steht, also wenn die Breite  $\varphi$  und die Deklination  $\delta$  „gleichnamig“ sind (beide **N** oder beide **S**). Weihnachten in Kapstadt beispielsweise bedeutet dort Sommer! Unsere kalendarischen Vorstellungen dagegen beziehen sich ja nur auf die gewohnten Verhältnisse auf der Nordhalbkugel.

Im **Sommerhalbjahr** ( $\varphi, \delta$  gleichnamig) gehe man im Diagramm in den Bereich rechts oben, im **Winterhalbjahr** ( $\varphi, \delta$  ungleichnamig) dagegen im linken Bereich nach unten. Zwei Breiten sind von besonderer Bedeutung:

- Der **Äquator** mit ( $\varphi = 0^\circ$ ) hat das ganze Jahr über die Sonnenzeit von 12 h.
- Und ab dem **Polarkreis** ( $|\varphi| \geq 66^\circ 34'$ ) kann die Sonne zum Zirkumpolargestirn werden (Sommer) oder im Tagesverlauf gänzlich unter der Kimm verbleiben (Polarwinter).

≈ Deklinationswerte der ☉ übers Jahr <sup>5</sup>					
N-Halbkugel			S-Halbkugel		
Datum		$\delta \approx$	Datum		$\delta \approx$
20.03.	23.09.	0°	23.09.	20.03.	0°
23.03.	20.09.	1° N	25.09.	18.03.	1° S
25.03.	17.09.	2° N	28.09.	15.03.	2° S
28.03.	15.09.	3° N	30.09.	13.03.	3° S
30.03.	12.09.	4° N	03.10.	10.03.	4° S
02.04.	10.09.	5° N	05.10.	07.03.	5° S
05.04.	07.09.	6° N	08.10.	05.03.	6° S
07.04.	04.09.	7° N	11.10.	02.03.	7° S
10.04.	02.09.	8° N	13.10.	28.02.	8° S
13.04.	30.08.	9° N	16.10.	25.02.	9° S
15.04.	27.08.	10° N	19.10.	22.02.	10° S
18.04.	24.08.	11° N	22.10.	20.02.	11° S
21.04.	21.08.	12° N	24.10.	17.02.	12° S
24.04.	18.08.	13° N	27.10.	14.02.	13° S
27.04.	15.08.	14° N	30.10.	11.02.	14° S
30.04.	12.08.	15° N	03.11.	08.02.	15° S
04.05.	08.08.	16° N	06.11.	05.02.	16° S
07.05.	05.08.	17° N	09.11.	01.02.	17° S
11.05.	01.08.	18° N	13.11.	29.01.	18° S
15.05.	28.07.	19° N	17.11.	25.01.	19° S
20.05.	23.07.	20° N	21.11.	20.01.	20° S
25.05.	18.07.	21° N	26.11.	15.01.	21° S
31.05.	12.07.	22° N	02.12.	09.01.	22° S
10.06.	02.07.	23° N	11.12.	01.01.	23° S
<b>21.06.</b>		<b>SSW</b>	<b>21.12.</b>		<b>WSW</b>

<sup>5</sup> Werte für **Nicht-Schaltjahre**. In Schaltjahren ist das Datum ab 29.02. um einen Tag zu vergrößern!



## Programme für den CASIO *fx-9860GII SD*<sup>6</sup>, *fx-9860GIII*

Die Taschenrechner von CASIO lassen sich in einer simplen – dem früheren BASIC ähnlichen – Weise programmieren, was den Vorteil hat, daß man auch nach Jahren der Abstinenz damit klarkommt. Das hier zugrundegelegte Modell *fx-9860GII*, das bald durch die Version *GIII* abgelöst wird, ist für die alphanumerische Ein-/Ausgabe der Daten recht komfortabel. Die hier vorgestellten Programme funktionieren grundsätzlich aber auch mit einfacheren Modellen. Winkelmodus immer auf DEG [°]!

**Ein- und Ausgabeformate, Anzahl der Nachkommastellen auf „Fix 3“ einstellen!**

Größen, die normalerweise in **Nautischer Form** (wie  $\varphi, \lambda, \delta, \beta, t, h$ ) vorliegen, werden am Rechner als **Pseudo-Dezimalform (d)dd.mmm** ein-/ausgegeben, z.B.  $36^\circ 18,7' \rightarrow 36.187$ .

**Uhrzeiten** (wie UT1) werden am Rechner in **hh.mmss** eingegeben, z.B.  $18.07.32 \rightarrow 18.0732$ .

Alle anderen Größen (wie  $\alpha, \alpha_{Az}, \Phi, b, d, \ell, Z$ , Kurse, Peilungen, etc.) sind und bleiben Dezimalgrößen mit mehr oder weniger Nachkommastellen, etwa **ddd.ddd**, **ddd.d00** oder **ddd**.

### 1-HAZ — Berechnung von **Höhe/Azimet** eines Gestirns

Eingabe des Programm-Namens    Main Menu  $\rightarrow$  B (PRGM)  
  Programmliste  $\rightarrow$  NEW  
  Programmname [**1-HAZ**]

```
"t [ddd.mmm] = "?  $\rightarrow$  T  $\downarrow$     (Eingabe von Ortsstundenwinkel  $t$  in ddd.mmm)
"φ [dd.mmm] = "?  $\rightarrow$  B  $\downarrow$     (Eingabe von geogr. Breite  $\varphi$  in dd.mmm)
"δ [dd.mmm] = "?  $\rightarrow$  D  $\downarrow$     (Eingabe von Deklination  $\delta$  in dd.mmm)
Int T+Frac T  $\div$  0.6  $\rightarrow$  T  $\downarrow$     (Dezimalform von  $t$ )
Int B+Frac B  $\div$  0.6  $\rightarrow$  B  $\downarrow$     (Dezimalform von  $\varphi$ )
Int D+Frac D  $\div$  0.6  $\rightarrow$  D  $\downarrow$     (Dezimalform von  $\delta$ )
sin-1(sin B  $\times$  sin D + cos B  $\times$  cos D  $\times$  cos T)  $\rightarrow$  F  $\downarrow$     (Höhe  $h$  in Dezimalform)
Int F + 0.6  $\times$  Frac F  $\rightarrow$  H  $\downarrow$     (Höhe  $h$  in dd.mmm)
ClrText  $\downarrow$     (Clear Text/Screen)
"h [dd.mmm] ="  $\downarrow$     (Ausgabe der Höhe  $h$  in dd.mmm)
H  $\blacktriangleleft$ 
cos-1((sin D - sin F  $\times$  sin B)  $\div$  cos F  $\div$  cos B)  $\rightarrow$  X  $\downarrow$  (Halbkreis. Azimet, Dezimalform)
If sin T < 0  $\downarrow$     (Programmschleife für vollkreisigen Azimet)
Then X  $\rightarrow$  Z  $\downarrow$     (Gestirn steht E-lich)
Else 360 - X  $\rightarrow$  Z  $\downarrow$     (Gestirn steht W-lich)
IfEnd  $\downarrow$     (Ende der Programmschleife)
Fix 1  $\downarrow$     (Einstellung auf 1 Nachkommastelle)
"α_Az [ddd.d] ="  $\downarrow$     (Ausgabe des vollkreisigen Azimutes  $\alpha_{Az}$  in ddd.d)
Z  $\blacktriangleleft$ 
Fix 3  $\downarrow$     (zurück zur Einstellung auf 3 Nachkommastellen)
Stop  $\downarrow$     (Ende des Programms)
```

#### Test:

```
t = 42.354,    φ = 36.510,    δ = -17.381,
 $\rightarrow$  h = 22.191,    α_Az = 224.2 (224.200).
```

<sup>6</sup> Der Zusatz „SD“ bedeutet SD-Karte zur Speicherung, was ganz praktisch ist, aber nicht notwendig.

## 2-EPHEME — Ephemeriden für Sonne und Aries<sup>7</sup> (ab 01.01.2000)

Eingabe des Programm-Namens Main Menu → B (PRGM)

Programmliste → NEW

Programmname [2-EPHEME]

"Jahr = "? → Y ↓ (Eingabe des Kalenderjahres)  
"Monat = "? → M ↓ (Eingabe des Monats)  
"Tag = "? → D ↓ (Eingabe des Tages)  
"UT1 [hh.mmss] = "? → U ↓ (Eingabe der UT1 in hh.mmss)  
Int U + Int (100 × Frac U) ÷ 60 + Int (100 × Frac (100 × U)) ÷ 3600 → U ↓ (UT1, Dezimalform)  
367 × Y - Int (7 ÷ 4 × (Y + Int ((M + 9) ÷ 12))) + Int (275 ÷ 9 × M) - 730531.5 + D + U ÷ 24 → N ↓  
(Anzahl  $n$  der Tage seit Beginn der Standarddepoche J2000)  
100.464042 + 0.985646837 × N + 15 × U → W ↓ (Greenwich-Stundenwinkel  $t_{GrY}$  des Aries)  
280,46 + 0,9856474 × N → L ↓ (Mittlere ekliptikale Länge  $L$  der Sonne)  
357,528 + 0,9856003 × N → G ↓ (Mittlere Anomalie der Sonne)  
L + 1,915 × sin G + 0,02 × sin (2 × G) → K ↓ (Wahre ekliptikale Länge  $\lambda$  der Sonne)  
23,439 - 0,0000004 × N → E ↓ (Schiefe  $\varepsilon$  der Ekliptik)  
 $\sin^{-1}(\sin K \times \sin E)$  → B ↓ (Deklination  $\delta$  der Sonne)  
 $2 \times \tan^{-1}(\sin K \times \cos E \div (\cos B + \cos K))$  → A ↓ (Rektaszension  $\alpha$  der Sonne)  
W - A → T ↓ (Greenwich-Stundenwinkel  $t_{Gr\odot}$  der Sonne)  
 $360 \times \text{Frac}(W \div 360)$  → W ↓ (Reduktion von  $t_{GrY}$  auf 0 ... 360°)  
 $360 \times \text{Frac}(T \div 360)$  → T ↓ (Reduktion von  $t_{Gr\odot}$  auf 0 ... 360°)  
Int W + 0,6 × Frac W → W ↓ ( $t_{GrY}$  in ddd.mmm)  
Int T + 0,6 × Frac T → T ↓ ( $t_{Gr\odot}$  in ddd.mmm)  
Int B + 0,6 × Frac B → B ↓ ( $\delta$  in dd.mmm)  
ClrText ↓ (Clear Text/Screen)  
"Sonne:" ↓ (Ankündigung)  
" " ↓ (Leerzeile)  
"t\_Gr [ddd.mmm] =" ↓ (Ausgabe von  $t_{Gr\odot}$  in ddd.mmm)  
T ▲  
"δ [dd.mmm] =" ↓ (Ausgabe von  $\delta$  in dd.mmm)  
B ▲  
ClrText ↓ (Clear Text/Screen)  
"Aries:" ↓ (Ankündigung)  
" " ↓ (Leerzeile)  
"t\_Gr [ddd.mmm] =" ↓ (Ausgabe von  $t_{GrY}$  in ddd.mmm)  
W ▲  
Stop ↓ (Ende des Programms)

### Test:

Jahr = 2021, Monat = 6, Tag = 14, UT1 = 18.0731,  
→ Sonne: t\_Gr = 91.467,  $\delta$  = 23.177; Aries: t\_Gr = 175.083.

---

<sup>7</sup> siehe hierzu [7], Abschnitt 3.4.4

### 3-IDEFIX — Identifikation von Fixsternen

Eingabe des Programm-Namens Main Menu → B (PRGM)  
 Programmliste → NEW  
 Programmname [3-IDEFIX]

```
"α_Az [ddd.d] ≅ "? → A ↓ (Eingabe des Azimutes αAz in ddd.d)
"h_b [dd.mmm] ≅ "? → H ↓ (Eingabe der beob. Höhe hb in dd.mmm)
"φ [dd.mmm] ≅ "? → B ↓ (Eingabe der ungefähren Breite in dd.mmm)
"λ [ddd.mmm] ≅ "? → L ↓ (Eingabe der ungefähren Länge in dd.mmm)
"Jahr = "? → Y ↓ (Eingabe des Kalenderjahres)
"Monat = "? → M ↓ (Eingabe des Monats)
"Tag = "? → D ↓ (Eingabe des Tages)
"UT1 [hh.mmss] = "? → U ↓ (Eingabe der UT1 in hh.mmss)
Int U+Int (100×Frac U)÷60+Int (100×Frac (100×U))÷3600 → U ↓ (Dezimalform von UT1)
367×Y-Int (7÷4×(Y+Int ((M+9)÷12)))+Int (275÷9×M)-730531.5+D+U÷24 → N ↓
(Angabe n der Tage seit Beginn der Standarddepoche J2000)
100.464042+0.985646837×N+15×U → W ↓ (Greenwich-Stundenwinkel tGrγ des Aries)
360×Frac (W÷360) → W ↓ (Reduktion von tGrγ auf 0...360°)
Int H+Frac H÷0.6 → H ↓ (Dezimalform von hb)
Int B+Frac B÷0.6 → B ↓ (Dezimalform von φ)
Int L+Frac L÷0.6 → L ↓ (Dezimalform von λ)
sin-1 (sin B×sin H+cos B×cos H×cos A) → F ↓ (Deklination δ des Fixsterns, Dezimalform)
Int F+0,6×Frac F → D ↓ (Deklination δ in dd.mmm)
cos-1 ((sin H-sin F×sin B)÷cos F÷cos B) → X ↓ (Halbkreis. Ortsstundenw., Dezimalform)
If sin A<0 ↓ (Programmschleife f. vollkr. Ortsstundenw.)
Then X → T ↓ (Stern steht W-lich)
Else 360-X → T ↓ (Stern steht E-lich)
IfEnd ↓ (Ende der Programmschleife)
T-W-L → S ↓ (Sternwinkel β, Dezimalform)
If S<0 ↓ (Programmschleife für 0 ≤ β < 360°)
Then S+360 → P ↓
Else S → P ↓
IfEnd ↓ (Ende der Programmschleife)
Int P+0,6×Frac P → P ↓ (β in dd.mmm)
ClrText ↓ (Clear Text/Screen)
"β [ddd.mmm] =" ↓ (Ausgabe d. Sternwinkels β in ddd.mmm)
P ▲
"δ [dd.mmm] =" ↓ (Ausgabe der Deklination δ in dd.mmm)
D ▲
Stop ↓ (Ende des Programms)
```

#### Test:

α<sub>Az</sub> ≅ 280, h<sub>b</sub> ≅ 19.49, φ ≅ 54.48, λ ≅ 13.12,  
 Jahr = 2021, Monat = 10, Tag = 20, UT1 = 16.57,  
 → β = 149.212, δ = 21.473.

#### 4-KRSDST — Kurs und Distanz / Großkreis

Eingabe des Programm-Namens    Main Menu → B (PRGM)  
  Programmliste → NEW  
  Programmname [4-KRSDST]

```
"φ_1 [dd.mmm] = "? → B ↓                    (Eingabe der Abfahrtsbreite φ1 in dd.mmm)
"λ_1 [ddd.mmm] = "? → L ↓                    (Eingabe der Abfahrtslänge λ1 in ddd.mmm)
"φ_2 [dd.mmm] = "? → D ↓                    (Eingabe der Bestimmungsbreite φ2 in dd.mmm)
"λ_2 [ddd.mmm] = "? → M ↓                    (Eingabe der Bestimmungslänge λ2 in ddd.mmm)
Int B+Frac B ÷ 0.6 → B ↓                    (Dezimalform von φ1)
Int D+Frac D ÷ 0.6 → D ↓                    (Dezimalform von λ1)
Int L+Frac L ÷ 0.6 → L ↓                    (Dezimalform von φ2)
Int M+Frac M ÷ 0.6 → M ↓                    (Dezimalform von λ2)
L - M → T ↓                                  (Längendifferenz)
sin-1 (sin B × sin D + cos B × cos D × cos T) → F ↓
(90 - F) × 60 → R ↓                         (Großkreisdistanz dGK in sm)
ClrText ↓                                    (Clear Text/Screen)
"d [sm] =" ↓                                 (Ausgabe der Distanz dGK in sm)
R ▲
cos-1 ((sin D - sin F × sin B) ÷ cos F ÷ cos B) → X ↓    (Hilfsgröße ZAK)
If sin T < 0 ↓                                (Programmschleife für vollkreisigen Kurs)
Then X → Z ↓                                 (Kurs ist E-lich orientiert)
Else 360 - X → Z ↓                         (Kurs ist W-lich orientiert)
IfEnd ↓                                      (Ende der Programmschleife)
"α_1 [ddd.ddd] =" ↓                         (Ausgabe des Anfangskurses αAK in ddd.ddd)
Z ▲
Stop ↓                                        (Ende des Programms)
```

#### Test:

φ<sub>1</sub> = 48.16,    λ<sub>1</sub> = -4.49,    φ<sub>2</sub> = 4.59,    λ<sub>2</sub> = -52.22,  
→ d = 3550.516,    α<sub>1</sub> = 238.870.

## 5-ZIEL — Zielort / Großkreis

Eingabe des Programm-Namens    Main Menu → B (PRGM)  
  Programmliste → NEW  
  Programmname [5-ZIEL]

```
"φ-1 [dd.mmm] = "? → B ↓                    (Eingabe der Abfahrtsbreite φ1 in dd.mmm)
"λ-1 [ddd.mmm] = "? → L ↓                    (Eingabe der Abfahrtslänge λ1 in ddd.mmm)
"α-1 [ddd.ddd] = "? → T ↓                    (Eingabe des Anfangskurses αAK in ddd.ddd)
"d [sm] = "? → D ↓                            (Eingabe der Distanz dGK in sm)
Int B+Frac B ÷ 0.6 → B ↓                    (Dezimalform von φ1)
Int L+Frac L ÷ 0.6 → L ↓                    (Dezimalform von λ1)
90 - D ÷ 60 → D ↓                            („Höhe“)
sin-1 (sin B × sin D + cos B × cos D × cos T) → F ↓
Int F + 0.6 × Frac F → H ↓                    (φ2 in dd.mmm)
ClrText ↓                                    (Clear Text/Screen)
"φ-2 [dd.mmm] =" ↓                            (Ausgabe der Bestimmungsbreite φ2 in dd.mmm)
H ▲
cos-1 ((sin D - sin F × sin B) ÷ cos F ÷ cos B) → X ↓    (Halbkreisige Längendifferenz Δλ)
If sin (-T) < 0 ↓                            (Programmschleife für vollkreisiges Δλ)
Then X → Z ↓                                (Bestimmungsort liegt E-lich)
Else -X → Z ↓                                (Bestimmungsort liegt W-lich)
IfEnd ↓                                      (Ende der Programmschleife)
L + Z → Z ↓                                (Bestimmungslänge λ2, Dezimalform)
Int Z + 0.6 × Frac Z → Z ↓                    (λ2 in ddd.mmm)
"λ-2 [ddd.mmm] =" ↓                            (Ausgabe der Bestimmungslänge λ2 in ddd.mmm)
Z ▲
Stop ↓                                        (Ende des Programms)
```

### Test:

φ<sub>-1</sub> = 48.16,    λ<sub>-1</sub> = -4.49,    α<sub>-1</sub> = 238.87 ,    d = 3550.52,  
→ φ<sub>-2</sub> = 4.590,    λ<sub>-2</sub> = -52.220.

## 6-VB-PHI — Vergrößerte Breite $\Phi$

Eingabe des Programm-Namens    Main Menu  $\rightarrow$  B (PRGM)  
  Programmliste  $\rightarrow$  NEW  
  Programmname [6-VB-PHI]

```
" $\varphi$  [dd.mmm] = "?  $\rightarrow$  B  $\downarrow$                     (Eingabe der geographischen Breite  $\varphi$  in dd.mmm)
Int B+Frac B  $\div$  0.6  $\rightarrow$  B  $\downarrow$                     (Dezimalform von  $\varphi$ )
10800  $\div$   $\pi$   $\times$  ln tan (B  $\div$  2 + 45)  $\rightarrow$  V  $\downarrow$         (Vergrößerte Breite  $\Phi$ , sphärisch)
ClrText  $\downarrow$                                             (Clear Text/Screen)
Fix 2  $\downarrow$                                             (Einstellung auf 2 Nachkommastellen)
"Sphärisch:"  $\downarrow$                                     (Ankündigung)
" "  $\downarrow$                                             (Leerzeile)
" $\Phi$  ="  $\downarrow$                                         (Ausgabe der Vergrößerten Breite  $\Phi$ , sphärisch)
V  $\blacktriangleleft$ 
V - 23.01358  $\times$  sin B - 0.05135  $\times$  (sin B)3  $\rightarrow$  W  $\downarrow$     (Vergrößerte Breite  $\Phi$ , WGS-84)
ClrText  $\downarrow$                                             (Clear Text/Screen)
"WGS-84:"  $\downarrow$                                         (Ankündigung)
" "  $\downarrow$                                             (Leerzeile)
" $\Phi$  ="  $\downarrow$                                         (Ausgabe der Vergrößerten Breite  $\Phi$ , WGS-84)
W  $\blacktriangleleft$ 
Fix 3  $\downarrow$                                             (zurück zur Einstellung auf 3 Nachkommastellen)
Stop  $\downarrow$                                             (Ende des Programms)
```

### Test:

$\varphi$  = 54.483,  
 $\rightarrow \Phi$  = 3947.62 (sphärisch),     $\Phi$  = 3928.78 (WGS-84).

**Bemerkung:** Die im NORIE [3] unter *Meridional Parts of the Terrestrial Spheroid* vertafelten Werte unterscheiden sich von denen des WGS-84 geringfügig, da dem *Terrestrial Spheroid* ein anderes Erdellipsoid zugrundegelegt ist (vgl. [8], Abschnitt 2.3.3).

## 7-VBKRS — Vergrößerte Breite / Kurs und Distanz

Eingabe des Programm-Namens    Main Menu → B (PRGM)  
 Programmliste → NEW  
 Programmname [7-VBKRS]

```
"φ_1 [dd.mmm] = "? → B ↓           (Eingabe der Abfahrtsbreite φ1 in dd.mmm)
"λ_1 [ddd.mmm] = "? → L ↓           (Eingabe der Abfahrtslänge λ1 in ddd.mmm)
"φ_2 [dd.mmm] = "? → D ↓           (Eingabe der Bestimmungsbreite φ2 in dd.mmm)
"λ_2 [ddd.mmm] = "? → M ↓           (Eingabe der Bestimmungslänge λ2 in ddd.mmm)
Int B+Frac B ÷ 0.6 → B ↓           (Dezimalform von φ1)
Int D+Frac D ÷ 0.6 → D ↓           (Dezimalform von λ1)
Int L+Frac L ÷ 0.6 → L ↓           (Dezimalform von φ2)
Int M+Frac M ÷ 0.6 → M ↓           (Dezimalform von λ2)
(M - L) × 60 → T ↓                 (Äquatormeridiandistanz ℓ)
10800 ÷ π × ln tan (B ÷ 2 + 45) → P ↓ (Vergrößerte Breite Φ1)
10800 ÷ π × ln tan (M ÷ 2 + 45) → Q ↓ (Vergrößerte Breite Φ2)
Q - P → R ↓                         (Differenz der Vergrößerten Breiten Φ2 - Φ1)
√(T2 + R2) → S ↓                 („PYTHAGORAS“)
2 × tan-1 ((S - R) ÷ T) → X ↓      ((loxodromischer) Kurs α)
If sin X ≥ 0 ↓                       (Programmschleife für α ≥ 0)
Then X → Z ↓
Else X + 360 → Z ↓
IfEnd ↓                               (Ende der Programmschleife)
ClrText ↓                             (Clear Text/Screen)
"α [ddd.ddd] =" ↓                   (Ausgabe des Kurses α in ddd.ddd)
Z ▲
60 × (D - B) ÷ cos Z → H ↓           ((loxodromische) Distanz d)
"d [sm] =" ↓                         (Ausgabe der Distanz d in sm)
H ▲
Stop ↓                               (Ende des Programms)
```

### Test:

φ<sub>1</sub> = 54.352,    λ<sub>1</sub> = 13.364,    φ<sub>2</sub> = 55.230,    λ<sub>2</sub> = 14.040,  
 → α = 18.330,    d = 50.355.

## 8-VBZIEL — Vergrößerte Breite / Zielort

Eingabe des Programm-Namens    Main Menu → B (PRGM)  
  Programmliste → NEW  
  Programmname [8-VBZIEL]

```
"φ_1 [dd.mmm] = "? → B ↓                   (Eingabe der Abfahrtsbreite φ1 in dd.mmm)
"λ_1 [ddd.mmm] = "? → L ↓                   (Eingabe der Abfahrtslänge λ1 in ddd.mmm)
"α [ddd.ddd] = "? → A ↓                   (Eingabe des Kurses α in ddd.ddd)
"d [sm] = "? → S ↓                         (Eingabe der Distanz d in sm)
Int B+Frac B ÷ 0.6 → B ↓                   (Dezimalform von φ1)
Int L+Frac L ÷ 0.6 → L ↓                   (Dezimalform von λ1)
S × cos A ÷ 60 + B → D ↓                   (Bestimmungsbreite φ2, Dezimalform)
10800 ÷ π × ln tan (B ÷ 2 + 45) → P ↓       (Vergrößerte Breite Φ1)
10800 ÷ π × ln tan (D ÷ 2 + 45) → Q ↓       (Vergrößerte Breite Φ2)
(Q - P) ÷ 60 × tan A + L → M ↓             (Bestimmungslänge λ2, Dezimalform)
Int D + 0.6 × Frac D → D ↓                 (φ2 in dd.mmm)
Int M + 0.6 × Frac M → M ↓                 (λ2 in ddd.mmm)
ClrText ↓                                   (Clear Text/Screen)
"φ_2 [dd.mmm] =" ↓                         (Ausgabe der Bestimmungsbreite φ2 in dd.mmm)
D ▲
"λ_2 [ddd.mmm] =" ↓                         (Ausgabe der Bestimmungslänge λ2 in ddd.mmm)
M ▲
Stop ↓                                       (Ende des Programms)
```

### Test:

φ<sub>1</sub> = 54.352,    λ<sub>1</sub> = 13.364,    α = 18.33,    d = 50.355,  
→ φ<sub>2</sub> = 55.230,    λ<sub>2</sub> = 14.040.

## 9-WIND — Umrechnung scheinbarer Wind → wahrer Wind

```

Eingabe des Programm-Namens  Main Menu → B (PRGM)
                             Programmliste → NEW
                             Programmname [9-WIND]

"Scheinbarer Wind:" ↓      (Ankündigung)
" " ↓                      (Leerzeile)
"u_B [kn] = "? → U ↓      (Eingabe der Geschwindigkeit/scheinbarer Wind  $u_B$  in kn)
" " ↓                      (Leerzeile)
"R [°] = ? (Stb+,Bb-) "? → R ↓ (Eingabe des Windeinfalls/scheinbarer Wind  $R$  in ddd)
ClrText ↓                 (Clear Text/Screen)
"Fahrt/Kurs üG:" ↓       (Ankündigung)
" " ↓                      (Leerzeile)
"v_G [kn] = "? → V ↓      (Eingabe der Schiffsgeschwindigkeit über Grund  $v_G$  in kn)
"KüG [°] = "? → K ↓      (Eingabe des KüG in ddd)
ClrText ↓                 (Clear Text/Screen)
"rechtw. Kurs:" ↓       (Ankündigung)
" " ↓                      (Leerzeile)
"rwK [°] = "? → T ↓      (Eingabe des rwK in ddd)
T+R+180 → B ↓           (Richtung/scheinbarer Wind  $\alpha_B$ )
V × sin K+U × sin B → H ↓ (E-Komponente von  $\vec{u}_G$ )
V × cos K+U × cos B → I ↓ (N-Komponente von  $\vec{u}_G$ )
√(I2+H2) → J ↓       (Geschwindigkeit des wahren Windes  $u_G$ )
2 × tan-1 ((J - I) ÷ H) + 180 → W ↓ (wahre (woher?)-Windrichtung  $\alpha_G^*$ )
If W < 0 ↓              (Programmschleife für  $\alpha_G^* \geq 0$ )
Then W + 360 → W ↓
IfEnd ↓                 (Ende der Programmschleife)
Int (((0.514444 × J - 0.07) ÷ 0.834) ^ 0,669 + 0.37) → X ↓ (Windstärke/BEAUFORT)
ClrText ↓                 (Clear Text/Screen)
Fix 1 ↓                  (Einstellung auf 1 Nachkommastelle)
"u_G [kn] =" ↓          (Ausgabe der Geschwindigkeit/wahrer Wind  $u_G$  in kn)
J ▲
Fix 0 ↓                  (Einstellung auf 0 Nachkommastellen)
"Bft =" ↓              (Ausgabe der Stärke/wahrer Wind in Bft)
X ▲
"α_G* [°] =" ↓         (Ausgabe der wahren (woher?)-Windrichtung  $\alpha_G^*$  in ddd)
W ▲
Fix 3 ↓                 (zurück zur Einstellung auf 3 Nachkommastellen)
Stop ↓                  (Ende des Programms)

```

### Test:

```

u_B = 22.0,  R = -125,  v_G = 7.8,  KüG = 111,  rwK = 097,
→ u_G = 28.4,  Bft = 7,  α_G* = 322 (321.602).

```