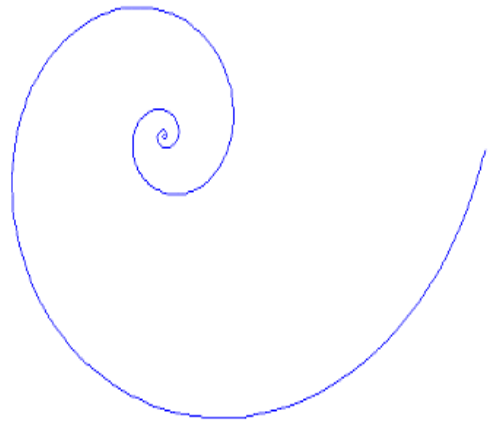


Sporthochseeschifferschein (SHS)

Navigation

– Terrestrische Navigation



Die JOJOs wünschen Dir ein schönes Seminar und viel Erfolg!

vom 01.04.2020

© Die Inhalte des Skriptes sind geistiges Eigentum von JOJO Wassersport. Die Nutzung und Vervielfältigung sind ohne die ausdrückliche schriftliche Gestattung durch JOJO Wassersport untersagt.

AUSBILDUNG
CHARTER
URLAUBSTÖRNS
ÜBERFÜHRUNGEN

JOJO Wassersport

Augustenstr. 79
80333 München

Telefon +49 (89) 30 90 99 88
Telefax +49 (89) 30 90 99 89
Email: info@jojo-wassersport.de

Informationen zur Prüfung

Anmeldung und Zulassungsvoraussetzungen siehe

www.joyo-wassersport.de oder www.dsv.org

Die Prüfung besteht aus den 4 theoretischen Teilprüfungsfächern,

Navigation, Seerecht, Wetterkunde und Handhabung der Yacht

und muss innerhalb von 24 Monaten abgelegt werden. Eine praktische Prüfung gibt es nicht. Die Frist beginnt mit dem Datum der ersten bestandenen Prüfung!

Nicht bestandene Teilfächer können in diesem Zeitraum beliebig oft wiederholt werden!

Hier gilt eine Sperrfrist von 2 Monaten zwischen dem Termin der nicht bestandenen

Prüfung und der Wiederholungsprüfung!

Werden nicht alle Fächer innerhalb der 24 Monate bestanden, muss die gesamte

Theorieprüfung, also alle 4 Fächer noch einmal wiederholt werden!

Die Prüfungsdauer beträgt je nach Fach:

Navigation 150 Minuten, sowie 10 Minuten Handhabung des Sextanten

Seerecht 45 Minuten

Seewetter 45 Minuten

Handhabung der Yachten mind. 15 Minuten (mündliche Prüfung)

Bei 65 % und mehr der zu erreichenden Gesamtpunktzahl gilt die Teilprüfung als

bestanden. Ab 55 % der Punkte wird man zur mündlichen Prüfung zugelassen. Bei weniger als 55 % der Punkte ist die Teilprüfung nicht bestanden!

Eine gegebenenfalls erforderliche mündliche Prüfung dauert maximal 15 Minuten und findet direkt im Anschluss an die Ergebnisbekanntgabe (meist am Folgetag) statt.

Im Fach Navigation dürfen folgende Hilfsmittel verwendet werden:

- Übungskarte BA 2656
- SSS / SHS - Begleitheft
- Karte INT 1
- Navigationsbesteck
- Formblatt für die Astronavigation
- Taschenrechner (**nicht programmierbar**, siehe veröffentlichte Liste)

Im Fach Seerecht sind Radar Plotting Sheets zugelassen.

Im Fach Wetterkunde sind keine Hilfsmittel zugelassen.

Theoretische Prüfung Sporthochseeschifferschein (SHS) nach Nummer 4.2 der Durchführungsrichtlinien zur SportSeeSchiffV

Teilprüfungsfach Navigation

(maximal erreichbare Punktzahl: 60)

1.1

Reiseplanung

(Terrestrische Navigation unter Berücksichtigung von Gezeiten in europäischen Gewässern und unter Berücksichtigung von Kapitel V des Internationalen Übereinkommens von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens auf See (SOLAS))

1.2

Koppelnavigation; Berücksichtigung von Meeresströmen

1.3

Astronomische Navigation

- 1.3.1 Grundbegriffe: Koordinatensysteme am Himmel, Gestirnsarten
- 1.3.2 Die Zeit (Zeitbegriffe, Zeitmesser, Zeitrechnungen)
- 1.3.3 Nautisches Jahrbuch
- 1.3.4 Sextant
- 1.3.5 Auswertung von Gestirnsbeobachtungen (Sonne, Mond und Planeten)
- 1.3.6 Astronomische Schiffsortsbestimmungen
- 1.3.7 Ort aus zwei oder mehreren Höhen, mit und ohne Versegelung
- 1.3.8 Astronomische Kompasskontrolle

1.4

Elektronische Navigation

- 1.4.1 Satellitengestütztes Funknavigationsverfahren (z. B. GPS): Wirkungsweise, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit
- 1.4.2 Radar: Wirkungsweise, Darstellung von Radarzielen, Auflösungsvermögen, Seegangs- und Regenenttrübung, Reichweiten, Störung des Radarbildes, Zuverlässigkeit
- 1.4.3 Zusammenwirken elektronischer Navigationsgeräte (NMEA Schnittstelle), Möglichkeiten und Risiken
- 1.4.4 Elektronischer Kartenplotter, elektronische Seekarte (ECDIS = Electronic Chart Display and Information System)
- 1.4.5 Aufbau und Gebrauch des automatischen Identifikationssystems AIS

Literatur – Tipps:

- **Sporthochseeschifferschein – Lehrbuch**
v. Damm, Iminger, Schulz, Wand, Delius – Klasing Verlag
- **Übungsaufgaben für die schriftlichen Prüfungen zum Sportsee- und Sporthochseeschifferschein**
DSV – Verlag (Autor Werner Huth)
- **Navigation für die Sport- und Berufsschifffahrt**
Handhabung britischer Seekarten und Gezeitenkunde
DSV Verlag
- **Sicherheit auf dem Wasser (Broschüre)**
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- **Radar an Bord – Das Praxishandbuch für Skipper**
Fürst, Pietsch – Verlag
- **Seemannschaft – Handbuch für den Yachtsport**
Delius - Klasing Verlag

Web - Links für Seerecht

Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice (ELWIS) der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes:

www.elwis.de

Elektronische Seekarten:

www.navionics.com

(Free Online Web App für Seekarten weltweit – nur zur Info – nicht navigationstauglich!)

Prüfungsbereich auf der Homepage (Passwort: sonnenschuss):

- **A.T.T. – Formblatt**
- **A.T.T. – Kurven Standard Ports**
- **Übungen 01 - 04**
- **Merkblatt Seetagebücher und Reiseplanung** in der Sportschifffahrt
- **Broschüre zur Sicherheit auf dem Wasser**
- **Elektronische Seekarten – Informationen vom BSH**
- **Prüfungsrichtlinien und Prüfungsantrag**

1. Weiterführende Literatur und Materialien	5
2. Das rechnerische Koppeln	7
3. Trigonometrie (Wiederholung)	8
4. Orthodrome und Loxodrome	8
5. Besteckrechnung	9
6. Besteckberechnung nach Mittelbreite	10
7. Besteckberechnung nach vergrößerter Breiten	17
8. Großkreisnavigation	21
9. Kleine Kartenkunde	24

Erdkugel, Breite und Länge (Wiederholung):

Die ideale Erdoberfläche besteht aus dem von Wind- und Gezeiteneinfluss befreiten mittleren Meeresspiegel und seiner Fortsetzung unter den Kontinenten. Dieser Körper heißt Geoid. Physikalisch ist das Geoid eine Äquipotentialfläche (gleiches Erdschwerefeld). Das Geoid dient als Bezugsfläche für Höhen- und Tiefenmessungen. Für die weiteren nautischen Rechnungen kann die Erde ohne erhebliche Fehler als Kugel betrachtet werden. In erster Annäherung hat die Erde einen Radius $r = 6371 \text{ km}$.

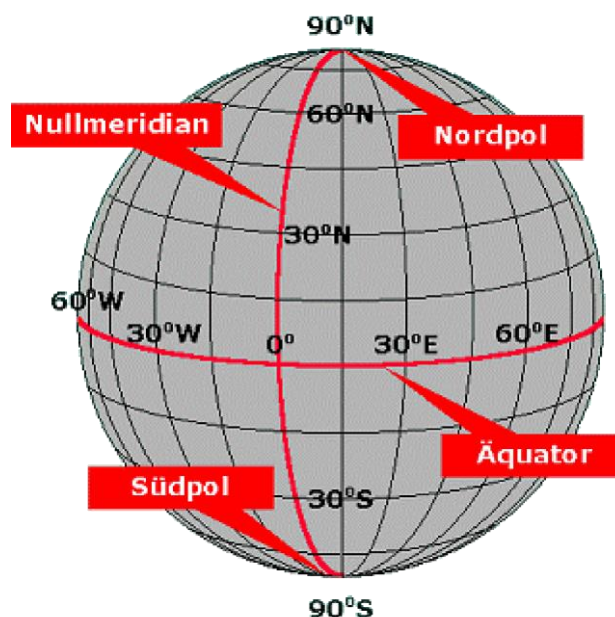
Um einen Ort auf der Erde seiner Lage nach festlegen zu können, denkt man sich auf der Erde ein Liniennetz gezogen. Durch die beiden Erdpole, die Enden der Erdachse, werden **Großkreise** (180° West, 180° Ost) gelegt. Deren Mittelpunkte liegen im Erdmittelpunkt. Die vom Nordpol zum Südpol gehende Hälfte eines solchen Großkreises heißt **Meridian**. Null-Meridian geht durch die Sternwarte von Greenwich bei London.

Senkrecht zu den Meridianen werden Parallelkreise gelegt, die **Breitenparallele** (90° Nord, 90° Süd). Sie laufen parallel zum Erdäquator. Ihre Mittelpunkte liegen auf der Erdachse. Der **Erdäquator** ist der Großkreis, dessen sämtliche Punkte gleichweit von den Polen entfernt liegen. Die Erdachse steht senkrecht auf der Äquatorebene.

Jeder Ort der Erde wird durch die zwei Koordinaten **Breite und Länge** festgelegt. Die (geographische) Breite (ϕ (Phi)) ist der Abstand des Ortes vom Äquator, gemessen in Graden auf dem Meridian des Ortes. Die (geographische) Längen (λ (Lambda)) des Ortes ist der Winkel am Pol zwischen dem Meridian des Ortes und dem Null-Meridian oder, was dasselbe ist, der Bogen des Äquators vom Null-Meridian bis zum Meridian des Ortes, gemessen in Graden.

Ein Punkt auf der Erde ist also z. B. bezeichnet durch die Angaben:

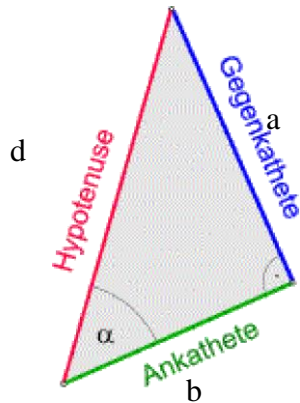
$$\begin{aligned}\phi &= 53^\circ 16' \text{ N} \\ \lambda &= 007^\circ 10' \text{ W.}\end{aligned}$$



Trigonometrie (Wiederholung):

Die Mathematische Theorie der Dreiecksbestimmung heißt **Trigonometrie**. Mit ebenen Dreiecken befasst sich die ebene Trigonometrie, mit Dreiecken auf einer Kugel die **sphärische Trigonometrie**.

Trigonometrische Funktionen werden für rechtwinklige Dreiecke definiert, um aus einem Winkel und einer Dreiecksseite eine andere Dreiecksseite berechnen zu können:



$$\sin \alpha = \text{Gegenkathete} / \text{Hypotenuse} = a / d$$

$$\cos \alpha = \text{Ankathete} / \text{Hypotenuse} = b / d$$

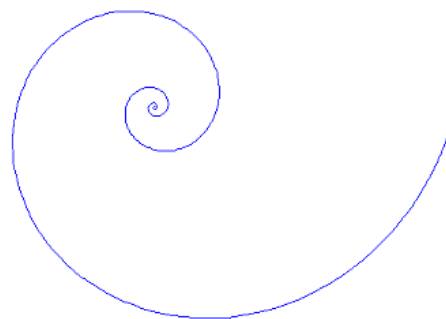
$$\tan \alpha = \text{Gegenkathete} / \text{Ankathete} = a / b$$

$$\cot \alpha = \text{Ankathete} / \text{Gegenkathete} = b / a$$

Geltende Bezeichnungen:	- Kurswinkel α
	- Breitenunterschied oder -distanz b
	- Abweichung a
	- Loxodromische Distanz d

Orthodrome und Loxodrome (Sphärische Trigonometrie):

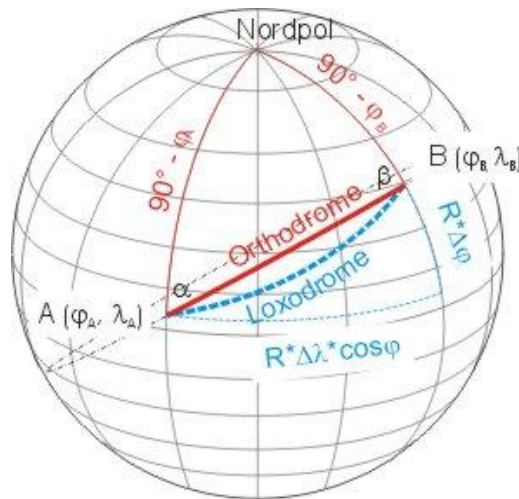
Großkreise (Orthodrome) teilen eine Kugel in zwei gleiche Hälften. Die Schnittfläche verläuft durch den Mittelpunkt. **Kursgleiche (Loxodrome)** sind keine Großkreise sofern sie nicht mit einem Meridian oder dem Äquator zusammenfallen. Auf einer Kugeloberfläche sind Großkreise (Orthodrome) Gerade, wohingegen Kursgleiche (Loxodrome) Kurven sind, die spiralförmig zu den Polen verlaufen.



Kursgleiche (Loxodrome)

Anmerkung zur Vervollständigung zur logarithmischen Spirale:

Diese Spiralart wird in Polarkoordinaten durch Gleichungen der Form $r = r_0 \cdot e^a$ (mit positiven reellen Zahlen r_0 und a) beschrieben. Bei ihr wächst der Radius exponentiell mit dem Polarwinkel. Umgekehrt hängt der Polarwinkel logarithmisch vom Radius ab und man spricht daher von einer logarithmischen Spirale. Der Faktor r_0 ist der Radius eines Anfangspunktes auf der Polarachse. Durch eine geeignete Änderung des Maßstabs kann man immer $r_0 = 1$ erreichen. Von diesem Punkt laufen die Windungen über positive und negative Polarwinkel nach außen und innen. Der Windungsabstand nimmt dabei mit wachsender Entfernung zum Zentrum zu.



Orthodrome und Loxodrome auf der Erdkugel

Die kleineren Bögen (Hauptbögen) dreier Großkreise bilden ein Dreieck auf einer Kugeloberfläche, das sphärische Dreieck. Die Länge jeder Seite wird als Mittelpunktswinkel angegeben.

Bedeutung in der Technik: Jedes Schiff und jedes Flugzeug, welches eine konstante Himmelsrichtung ansteuert, bewegt sich auf einer räumlichen Spirale (loxodrom) um einen der Pole. Die Loxodrome hat somit eine entscheidende Bedeutung in der See- und Luftfahrt wenn es darum geht auf der Erdoberfläche zu navigieren.

Besteckrechnung:

Das rechnerische Koppeln bezeichnet man als **Besteckrechnung**.

Gebräuchliche Verfahren:

- Besteckrechnung nach vergrößerter Breite
- Besteckrechnung unter Berücksichtigung der Erdgestalt
- Besteckrechnung nach Mittelbreite

Wir werden uns auf die für unsere Zwecke in aller Regel völlig ausreichenden **Besteckrechnung nach Mittelbreite** und **Besteckberechnung nach vergrößerter Breite** beschränken, diese gehen von einer Kugelgestalt der Erde aus, wohingegen beim dritten Verfahren i. a. der Erdellipsoid nach WGS 72 zugrundegelegt wird.

Die Besteckrechnung wird angewendet, wenn nur Seekarten kleinen Maßstabs zur Verfügung stehen, in denen zeichnerisches Koppeln zu ungenau ist.

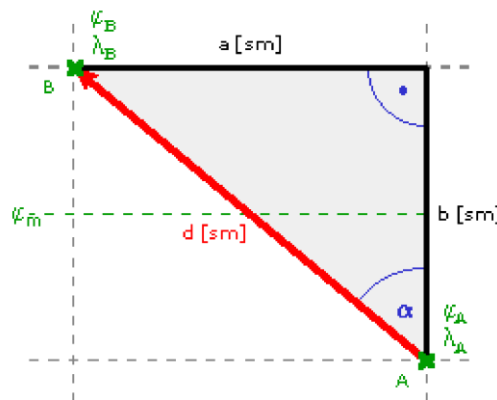
Mögliche Aufgabenstellung: Fall 1

Geg: Abfahrtsort A (φ_A, λ_A)
 KüG α (Kurs über Grund)
 DÜG d (Distanz über Grund)
 Ges: Bestimmungsort

Fall 2

Geg: Abfahrtsort A (φ_A, λ_A)
 Bestimmungsort B (φ_B, λ_B)
 Ges: KüG α
 DÜG d

Das **wahre Kursdreieck** veranschaulicht die Besteckrechnung. Die Abweitung a ist die Strecke, die das Schiff nach Ost oder West gutmacht, die Breitendistanz b die nach Nord oder Süd gutgemachte Distanz. a, b und d werden in sm angegeben.



In der Ebene ist es egal, ob bei der Zerlegung des Weges von A nach B zuerst die Breitendistanz oder zuerst die Abweitung berechnet wird. Auf einer Kugeloberfläche erhält man jedoch unterschiedliche Ergebnisse, weil die Breitenkreise mit zunehmender Breite kleiner werden.

Besteckrechnung nach Mittelbreite:

Bewegen wir uns mit konstantem Kurs, d.h. gleichbleibender Richtung auf der Erdkugel im geografischen Koordinatensystem, so verändert sich ausgehend von unserer Ausgangsposition sowohl die geografische Breite (φ) als auch die geografische Länge (λ). Ausnahmen sind reine Nord/Süd- und reine Ost/West-Kurse. Hierbei verändert sich die geografische Länge bzw. die geografische Breite nicht. Der Kursvektor kann somit in zwei Komponenten, die Breitendifferenz ($\Delta\varphi$) und die Längendifferenz ($\Delta\lambda$) aufgeteilt werden. Hiermit können mit Hilfe der **Besteckrechnung nach Mittelbreite** auf relativ einfache Weise navigatorische Berechnungen durchgeführt werden. **Bei der Besteckrechnung nach Mittelbreite wird daher die Abweitung über die Mittelbreite zwischen Ausgangs- und Bestimmungsort berechnet.**

Die zurückgelegte Distanz (d) zwischen Abfahrtsort (φ_A, λ_A) und Bestimmungsort (φ_B, λ_B) beschreibt auf der Erdkugel eine sog. Loxodrome. Eine Loxodrome ist eine Linie konstanten Kurses, die alle Meridiane unter demselben Winkel schneidet und sich spiralförmig dem Pol nähert. **Die Loxodrome ist im Gegensatz zur Orthodrome nicht die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten auf einer Kugel.** Die Abweitung (a) und die Breitendistanz (b) stehen als Katheten senkrecht aufeinander. Die Loxodrome bildet mit einer Kathete den Kurswinkel (α). Die Loxodrome bildet zusammen mit der Abweitung (a) und der Breitendistanz (b) ein **rechtwinkliges sphärisches Dreieck**. Die Zusammenhänge lassen sich als sog. loxodromisches Dreieck darstellen.

Die **Besteckberechnung nach Mittelbreite** ist ausreichend genau bei:

- einem maximalen Etmal von bis zu 500 sm (600 sm)!
- Breiten $0 < \varphi < 60^\circ$!
- Breitenunterschied $\Delta\varphi < 5^\circ$!

Nördlich/südlich von 70° N/S kommt daher anstatt der Besteckrechnung nach Mittelbreite die **Besteckrechnung nach vergrößerter Breite** zur Anwendung (siehe unten).

Die Breitendistanz (b) zwischen der Abfahrtsbreite (φ_A) und der Bestimmungsbreite (φ_B) entspricht der Breitendifferenz ($\Delta\varphi$) in sm:

$$\Delta\varphi * 60 \leq b$$

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$$

$$b = d * \cos \alpha \quad (\text{Umrechnung in sm} \Rightarrow) \quad b = \Delta\varphi * 60$$

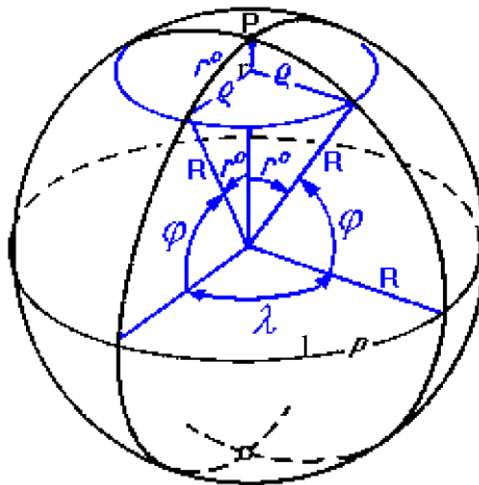
Die Länge der Seite a entspricht der **Längendistanz (λ)** bzw. der Längendifferenz ($\Delta\lambda$) in sm zwischen Abfahrtslänge (λ_A) und Bestimmungslänge (λ_B) unter Berücksichtigung der Breite (φ).

Herleitung der Formel $a = \lambda * \cos \varphi$

1. Schritt: Berechne den Radius des Breitenkreises der Breite (φ).

$$\cos(\varphi) = r / R \quad (\text{Z-Winkel!})$$

$$R * \cos(\varphi) = r \quad (R = \text{Erdradius})$$



2. Schritt: Berechne den Umfang des Breitenkreises der Breite (φ).

$$U = 2 \pi r$$

Der Umfang eines Breitenkreises auf Breite (φ) ist

$$U = 2 \pi (r * \cos(\varphi)) \quad \Rightarrow \text{aus Schritt 1}$$

Der Erdumfang beträgt $360 * 60' = 21.600 \text{ sm}$, also $2 \pi r = 21.600 \text{ sm}$. Der Umfang des Breitenkreises ist

$$U = 21.600 * \cos(\varphi)$$

3. Schritt: Berechne den Längenunterschied ($\Delta\lambda$) zwischen A und B!

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A \quad (\text{Umrechnung in sm} \Rightarrow \lambda = \Delta\lambda * 60)$$

Rechne $\Delta\lambda$ in Minuten um. $\Delta\lambda$ in Minuten heißt Äquatormeridiandistanz und wird mit λ bezeichnet.

$$a = \lambda * \cos \varphi_\mu$$

Es ist jedoch zu beachten, dass die Abfahrtsbreite (φ_A) und die Bestimmungsbreite (φ_B) nicht identisch sind. Zur Bestimmung der Abweichung a wird daher aus der Abfahrtsbreite (φ_A) und der Bestimmungsbreite (φ_B) das arithmetische Mittel, die sog. **Mittelbreite** (φ_μ) gebildet:

$$\varphi_\mu = (\varphi_A + \varphi_B) / 2 \quad \text{oder} \quad \varphi_\mu = \varphi_A + (\Delta\varphi / 2)$$

Die Distanz (d) zwischen Abfahrts- und Bestimmungsort wird dann gem. Pythagoras ermittelt:

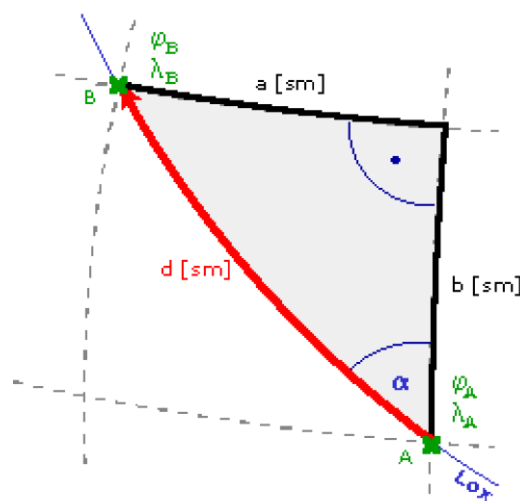
$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Der Kurs (α) kann aus den Seiten des loxodromischen Dreiecks berechnet werden:

$$\alpha = \arctan(a/b)$$

$$\alpha = \arccos(b/d)$$

$$\alpha = \arcsin(a/d)$$



Loxodromisches Dreieck (rechtwinkliges sphärisches Dreieck)

Beispielrechnung:

Fall 1

Geg: A ($\varphi_A = 42^\circ 18' \text{ N}$, $\lambda_A = 155^\circ 27' \text{ W}$)
KüG $\alpha = 125^\circ$
DüG $d = 43 \text{ sm}$

Ges: B (φ_B , λ_B)

Werte Umrechnen in „Taschenrechnerzahlen“:

$$d = 43 \text{ sm} = 43'$$

Rechenweg Fall 1:

1. Schritt:

$$\mathbf{b = d * \cos \alpha} \quad - 24,66' \quad = 43' * \cos 125^\circ$$
$$\Delta\varphi = \mathbf{b/60} \quad - 0^\circ 24,66' \text{ (Umrechnung von Min. in Grad)}$$
$$\varphi_B = \varphi_A + \Delta\varphi \quad \underline{41^\circ 53,4' \text{ N}} \quad = 42,3^\circ 18' \text{ N} + (- 0^\circ 24,6')$$

2. Schritt

$$\mathbf{a = d * \sin \alpha} \quad 35,22 \quad = 43' * \sin 125^\circ$$
$$\varphi_\mu = \varphi_A + (\Delta\varphi / 2) \quad 42^\circ 05,67' \text{ N} \quad = 42^\circ 18' \text{ N} + (- 0^\circ 24,66' / 2)$$

$$\mathbf{a = \lambda * \cos \varphi_\mu}$$

$$\lambda = a / \cos \varphi_\mu \quad 47,5' \quad = 35,2 / 0,74204 = \Delta\lambda$$

$$\lambda_B = \lambda_A + \Delta\lambda \quad -154^\circ 39,5' \quad = -155^\circ 27' + 47,5'$$
$$= \underline{154^\circ 39,5' \text{ W}}$$

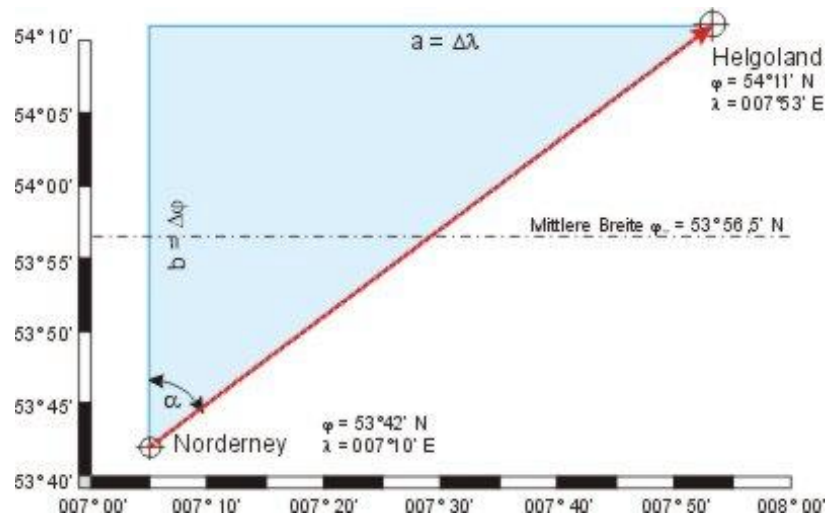
Lösung:

$$\mathbf{B (\varphi_B = \underline{41^\circ 53,4' \text{ N}}, \lambda_B = \underline{154^\circ 39,5' \text{ W}})}$$

Beispielrechnung:

Fall 2

Geg: Norderney A ($\varphi_A = 53^\circ 42' \text{ N}$, $\lambda_A = 007^\circ 11' \text{ E}$), Helgoland B ($\varphi_B = 54^\circ 11' \text{ N}$, $\lambda_B = 007^\circ 53' \text{ E}$)
 Ges: KüG á, DüG d



1. Schritt

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A = \lambda \quad 007^\circ 53' \text{ E} - 007^\circ 11' \text{ E} = 000^\circ 42'$$

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A = b \quad 54^\circ 11' \text{ N} - 53^\circ 42' \text{ N} = 00^\circ 29'$$

$$\varphi_\mu = (\varphi_A + \varphi_B) / 2 \quad (53^\circ 42' \text{ N} + 54^\circ 11' \text{ N}) / 2 = 53^\circ 56,5' \text{ N}$$

oder

$$\varphi_\mu = \varphi_A + (\Delta\varphi / 2) \quad 53^\circ 42' \text{ N} + (00^\circ 29' / 2) = 53^\circ 56,5' \text{ N}$$

$$\tan \alpha = \Delta\lambda / \Delta\varphi * \cos \varphi_\mu$$

$$\alpha = \arctan (\Delta\lambda / \Delta\varphi * \cos \varphi_\mu) \quad \arctan (42' / 29' * \cos 53^\circ 56,5') = 40,5^\circ$$

2. Schritt

$$b = \Delta\varphi * 60 \text{ (in sm)} \quad b = 29 \text{ sm}$$

$$b = d * \cos \alpha$$

$$d = b / \cos \alpha \quad d = 29 \text{ sm} / \cos 40,5^\circ = 38 \text{ sm}$$

oder

$$\lambda = a / \cos \varphi_\mu \Leftrightarrow \Delta\lambda$$

$$d = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad \sqrt{(24,72^2 + 29^2)} = 38,10 \text{ sm}$$

Formelsammlung Besteckrechnung nach Mittelbreite:

Fall 1

Geg: A (φ_A, λ_A); KüG α ; DüG d
 Ges: B (φ_B, λ_B)

1. Schritt: $b = d * \cos \alpha$ $b =$

$b/60 = \Delta\varphi$ $\Delta\varphi =$

$\varphi_B = \varphi_A + \Delta\varphi$ $\varphi_B =$

2. Schritt $a = d * \sin \alpha$ $a =$

$\varphi_\mu = \varphi_A + (\Delta\varphi / 2)$ $\varphi_\mu =$

$\lambda = a / \cos \varphi_\mu$ $\lambda =$

$\Delta\lambda = \lambda / 60$ $\Delta\lambda =$

$\lambda_B = \lambda_A + \Delta\lambda$ $\lambda_B =$

Lösung: B ($\varphi_B =$ _____ , $\lambda_B =$ _____)

Fall 2

Geg: A (φ_A, λ_A), B (φ_B, λ_B)
 Ges: KüG α , DüG d

1. Schritt $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$ $\Delta\lambda =$

$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$ $\Delta\varphi =$

$\varphi_\mu = (\varphi_A + \varphi_B) / 2$ $\varphi_\mu =$

oder

$\varphi_\mu = \varphi_A + (\Delta\varphi / 2)$ $\varphi_\mu =$

$\alpha = \arctan (\Delta\lambda / \Delta\varphi * \cos \varphi_\mu)$ $\alpha =$ _____

2. Schritt $b = \Delta\varphi * 60$ (in sm) $b =$

$b = d * \cos \alpha$

$d = b / \cos \alpha$ $d =$

oder

$\lambda = \Delta\lambda * 60$ $\lambda =$

$a = \lambda * \cos \varphi_\mu$ $a =$

$d = \sqrt{a^2 + b^2}$ $d =$ _____

Weitere Beispiele:

Berechne nach dem Verfahren der Mittelbreite den KüG α und die Distanz d !

- | | |
|---|---|
| a) A ($\varphi_A = 41^\circ 37,2' \text{ S}$, $\lambda_A = 177^\circ 00,2' \text{ W}$)
B ($\varphi_B = 42^\circ 04' \text{ S}$, $\lambda_B = 177^\circ 26' \text{ W}$) | d) A ($\varphi_A = 42^\circ 04' \text{ S}$, $\lambda_A = 085^\circ 42' \text{ W}$)
B ($\varphi_B = 41^\circ 29,5' \text{ S}$, $\lambda_B = 086^\circ 03,4' \text{ W}$) |
| b) A ($\varphi_A = 42^\circ 18' \text{ N}$, $\lambda_A = 155^\circ 27' \text{ W}$)
B ($\varphi_B = 41^\circ 53,8' \text{ N}$, $\lambda_B = 154^\circ 39' \text{ W}$) | e) A ($\varphi_A = 49^\circ 57' \text{ N}$, $\lambda_A = 000^\circ 03' \text{ W}$)
B ($\varphi_B = 49^\circ 51,7' \text{ N}$, $\lambda_B = 000^\circ 06,3' \text{ W}$) |
| c) A ($\varphi_A = 42^\circ 24' \text{ S}$, $\lambda_A = 054^\circ 21' \text{ W}$)
B ($\varphi_B = 41^\circ 57' \text{ S}$, $\lambda_B = 046^\circ 19' \text{ W}$) | f) A ($\varphi_A = 50^\circ 08' \text{ N}$, $\lambda_A = 000^\circ 10' \text{ W}$)
B ($\varphi_B = 50^\circ 07,5' \text{ N}$, $\lambda_B = 000^\circ 07,7' \text{ W}$) |

Berechne nach dem Verfahren der Mittelbreite den Koppelort!

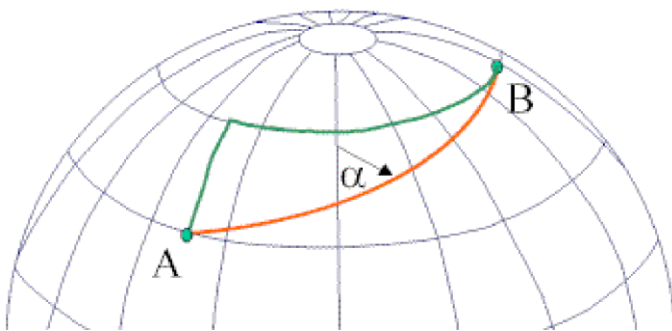
- | | |
|---|--|
| g) A ($\varphi_A = 54^\circ 14,5' \text{ N}$, $\lambda_A = 007^\circ 50' \text{ E}$)
Kak = 350° ; $d = 104 \text{ sm}$ | j) A ($\varphi_A = 41^\circ 57' \text{ S}$, $\lambda_A = 046^\circ 19' \text{ W}$)
Kak = 009° ; $d = 17,2 \text{ sm}$ |
| h) A ($\varphi_A = 42^\circ 04' \text{ S}$, $\lambda_A = 177^\circ 26' \text{ W}$)
Kak = 182° ; $d = 12,5 \text{ sm}$ | k) A ($\varphi_A = 49^\circ 57' \text{ N}$, $\lambda_A = 000^\circ 03' \text{ W}$)
Kak = 202° ; $d = 5,7 \text{ sm}$ |
| i) A ($\varphi_A = 41^\circ 53,8' \text{ N}$, $\lambda_A = 154^\circ 39' \text{ W}$)
Kak = 106° ; $d = 3,6 \text{ sm}$ | l) A ($\varphi_A = 50^\circ 08' \text{ N}$, $\lambda_A = 000^\circ 10' \text{ W}$)
Kak = 109° ; $d = 1,6 \text{ sm}$ |

Lösungen:

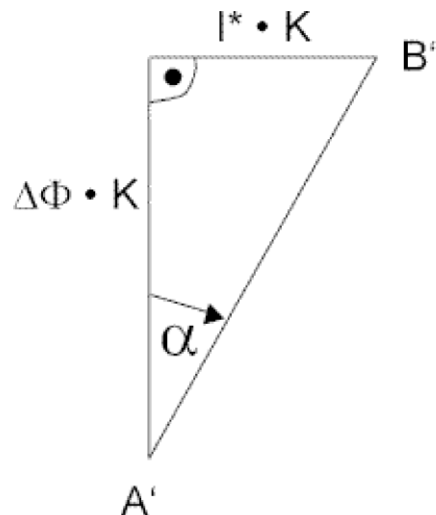
- | | | |
|---|---|--|
| a) $\Delta\lambda = -25,8' = \lambda$
$\Delta\varphi = -26,8' = b$
$\varphi_{\mu} = -41^\circ 50,6'$
$\alpha_r = 35,6^\circ$
$\alpha = 216^\circ$
$d = 33 \text{ sm}$ | b) $\Delta\lambda = 48' = \lambda$
$\Delta\varphi = -24,2' = b$
$\varphi_{\mu} = 42^\circ 05,9'$
$\alpha_r = -55,8^\circ$
$\alpha = 124^\circ$
$d = 43 \text{ sm}$ | c) $\Delta\lambda = = \lambda$
$\Delta\varphi = = b$
$\varphi_{\mu} = -42^\circ 10,5'$
$\alpha_r = ^\circ$
$\alpha = 86^\circ$
$d = 358 \text{ sm}$ |
| d) $\Delta\lambda = -21,4' = \lambda$
$\Delta\varphi = -34,5' = b$
$\varphi_{\mu} = -41^\circ 46,8'$
$\alpha_r = -24,8^\circ$
$\alpha = 335^\circ$
$d = 38 \text{ sm}$ | e) $\Delta\lambda = -03,3' = \lambda$
$\Delta\varphi = -05,3' = b$
$\varphi_{\mu} = 49^\circ 54,4'$
$\alpha_r = 21,8^\circ$
$\alpha = 202^\circ$
$d = 5,7 \text{ sm}$ | f) $\Delta\lambda = 02,3' = \lambda$
$\Delta\varphi = -00,5' = b$
$\varphi_{\mu} = 50^\circ 07,75'$
$\alpha_r = -71,3^\circ$
$\alpha = 109^\circ$
$d = 1,6 \text{ sm}$ |
| g) $b = 102,4' = 1^\circ 42,4' = \Delta\varphi$
$\varphi_B = 55^\circ 56,9' \text{ N}$
$a = -18$
$\varphi_{\mu} = 55^\circ 05,7'$
$\lambda = -31,4' = \Delta\lambda$
$\lambda_B = 007^\circ 18,6' \text{ E}$ | h) $b = 12,5' = \Delta\varphi$
$\varphi_B = 42^\circ 16,5' \text{ S}$
$a = -0,4362$
$\varphi_{\mu} = -42^\circ 10,25'$
$\lambda = -0,6' = \Delta\lambda$
$\lambda_B = 177^\circ 26,6' \text{ W}$ | i) $b = -1,0' = \Delta\varphi$
$\varphi_B = 41^\circ 52,8' \text{ N}$
$a = 3,46052$
$\varphi_{\mu} = 41^\circ 53,3'$
$\lambda = 4,6' = \Delta\lambda$
$\lambda_B = 154^\circ 34,4' \text{ W}$ |
| j) $b = 17' = \Delta\varphi$
$\varphi_B = 41^\circ 40,0' \text{ S}$
$a = 2,6907$
$\varphi_{\mu} = -41^\circ 48,5'$
$\lambda = 3,6' = \Delta\lambda$
$\lambda_B = 046^\circ 15,4' \text{ W}$ | k) $b = -5,3' = \Delta\varphi$
$\varphi_B = 49^\circ 51,7' \text{ N}$
$a = -2,1352$
$\varphi_{\mu} = 49^\circ 54,35'$
$\lambda = -3,3' = \Delta\lambda$
$\lambda_B = 000^\circ 06,3' \text{ W}$ | l) $b = -0,5' = \Delta\varphi$
$\varphi_B = 50^\circ 07,5' \text{ N}$
$a = 1,5128$
$\varphi_{\mu} = 50^\circ 07,75'$
$\lambda = 2,4' = \Delta\lambda$
$\lambda_B = 000^\circ 07,6' \text{ W}$ |

Besteckrechnung nach vergrößerter Breite

Bei großen Breiten und bei großem Breitenunterschied wird das Verfahren nach der Mittelbreite ungenau; deshalb wird hier das Verfahren der vergrößerten Breite angewendet. Dabei wird ein vergrößertes Kursdreieck zugrunde gelegt, das die Darstellung eines loxodromischen Dreiecks auf der Erde in der Mercatorkarte darstellt. Das Verfahren kann nicht angewendet werden, wenn die Kurse nahe 90° bzw. 270° sind.



Das loxodromische Dreieck auf der Erde



Vergrößertes Kursdreieck
 l^* ist das
 Meridianabstandsverhältnis;
 Φ ist die vergrößerte Breite

Das vergrößerte Kursdreieck ist die Darstellung des loxodromischen Dreiecks auf der Erde in der Mercatorkarte. l^* heißt Meridianabstandsverhältnis; K ist die Karteneinheit (Länge von l^* in cm). Für die Erdkugel sind die Zahlenwerte l^* , l [in sm] und $\Delta\lambda$ [in °] gleich.

In diesem rechtwinkligen, ebenen Dreieck gilt:

1. Eine Kathete ist der *Breitenabstand* $\Delta\Phi \cdot K$ der geographischen Breiten von Abfahrts- und Bestimmungsort in der Karte
2. Eine Kathete ist der *Meridianabstand* $l^* \cdot K$ der beiden Kartenmeridiane durch A' und B'.

Demnach gilt:

$$\tan(\alpha_{\text{Lox}}) = (l^* \cdot K) / (\Delta\Phi \cdot K) = l^* / \Delta\Phi$$

$$l^* = \Delta\Phi \cdot \tan(\alpha_{\text{Lox}})$$

Das Meridiansabstandsverhältnis ist das Verhältnis des Abstandes zweier Meridiane in der Mercatorkarte zum Meridionalteil. Wir setzen es bei der Geometrie der Erde mit $l^* = \Delta\lambda / 1'$ an.

Die vergrößerte Breite gibt das Verhältnis des Äquatorabstandes eines Breitenparallels der Mercatorkarte zum Meridionalteil an; $\Delta\Phi$ ist der Unterschied zweier vergrößerter Breiten.

Unter der Berücksichtigung der Geometrie der Erde ergibt sich:

$$\Phi = (10.800 / \pi) \cdot \ln \tan(45^\circ + \phi / 2)$$

Erste Aufgabe der Besteckrechnung nach vergrößerter Breite

Man errechnet wie bei der ersten Aufgabe der Besteckrechnung nach Mittelbreite nach

$$\Delta \varphi = b = d * \cos (\alpha)$$

die erreichte Koppelbreite φ_B .

Für φ_A und φ_B werden dann die vergrößerten Breiten Φ_A und Φ_B und daraus die Differenz $\Delta \Phi$ ermittelt.

Die Berechnung erfolgt entweder nach oben angeführter Formel oder nach einer Tabelle (siehe Anlage).

Der Längenunterschied ergibt sich zu:

$$\Delta \lambda = \Delta \Phi * \tan (\alpha_{\text{Lox}}) \text{ (siehe oben)}$$

Für den Koppelort ergibt sich:

$$\lambda_K = \lambda_A + \Delta \lambda$$

$$\varphi_K = \varphi_A + \Delta \varphi$$

Beispiel:

Man segelt aus der Lübecker Bucht ($\varphi_A=54^\circ 00,0' \text{ N}$; $\lambda_A= 010^\circ 50,0' \text{ E}$) mit Kurs 060° eine Distanz von 160 sm. Wie lauten die Koordinaten des Bestimmungsortes?

1. Schritt :

$$\Delta \varphi = b = d * \cos (\alpha)$$

$$\Delta \varphi = 160 * \cos (60^\circ) = 80' = 1^\circ 20'$$

$$\varphi_B = \varphi_A + \Delta \varphi$$

$$\varphi_B = 54^\circ 00,0' + 1^\circ 20' = \underline{55^\circ 20' \text{ N}}$$

2. Schritt :

$$\Phi = (10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + \varphi / 2)$$

$$(10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + 54^\circ 00,0' \text{ N} / 2)$$

$$\Phi_A = 3864,6$$

$$(10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + 55^\circ 20,0' \text{ N} / 2)$$

$$\Phi_B = 4003,0$$

$$\Delta \Phi = \Phi_B - \Phi_A$$

$$\Delta \Phi = 138,4$$

$$\Delta \lambda = \Delta \Phi * \tan (\alpha_{\text{Lox}})$$

$$\Delta \lambda = 138,4 * \tan (60^\circ) = 239,7'$$

$$\Delta \lambda = 3^\circ 59,7'$$

$$\lambda_B = \lambda_A + \Delta \lambda$$

$$\lambda_B = 10^\circ 50,0' \text{ E} + 3^\circ 59,7' = \underline{14^\circ 49,7' \text{ E}}$$

Der Bestimmungsort liegt auf $\varphi_B = 55^\circ 20' \text{ N}$ und $\lambda_B = 14^\circ 49,7' \text{ E}$. (Nördlich Bornholm)

Zweite Aufgabe der Besteckrechnung nach vergrößerter Breite

Aus Abfahrts- und Bestimmungsort werden der Breitenunterschied $\Delta\varphi$ und der Längenunterschied $\Delta\lambda$ bestimmt.

Für die geographischen Breiten beider Orte werden die vergrößerten Breiten Φ_A und Φ_B daraus die Differenz $\Delta\Phi$ bestimmt.

Daraus können Kurs und Distanz ermittelt werden:

$$\alpha \text{ Lox} = \arctan (\Delta\lambda / \Delta\Phi)$$

$$d = b / \cos (\alpha \text{ Lox})$$

Beispiel:

Man steht in der Lübecker Bucht ($\varphi_A = 54^\circ 00,0' \text{ N}$; $\lambda_A = 010^\circ 50,0' \text{ E}$) und setzt Kurs nördlich Bornholm ab. ($\varphi_B = 55^\circ 20' \text{ N}$ und $\lambda_B = 14^\circ 49,7' \text{ E}$)

Wie lauten Kurs und Distanz ?

1. Schritt :

$$\Phi = (10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + \varphi / 2) \quad (10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + 54^\circ 00,0' \text{ N} / 2)$$

$$\Phi_A = 3864,6$$

$$(10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + 55^\circ 20,0' \text{ N} / 2)$$

$$\Phi_B = 4003,0$$

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A <=> \lambda$$

$$\Delta\lambda = 3^\circ 59,7'$$

$$\lambda = 3^\circ 59,7' * 60 = 239,7'$$

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A <=> b$$

$$\Delta\varphi = 1^\circ 20,0'$$

$$b = 80'$$

$$\Delta\Phi = \Phi_B - \Phi_A$$

$$\Delta\Phi = 138,4$$

$$\alpha \text{ Lox} = \arctan (\Delta\lambda / \Delta\Phi)$$

$$\alpha \text{ Lox} = \arctan (239,7 / 138,4)$$

$$\alpha \text{ Lox} = 60^\circ$$

2. Schritt:

$$d = b / \cos (\alpha \text{ Lox})$$

$$d = 80 / \cos (60^\circ)$$

$$d = 160 \text{ sm}$$

Der Kurs lautet 060° , die Distanz beträgt 160 sm.

Formelsammlung Besteckrechnung nach vergrößerter Breite:

Fall 1

Geg: A (φ_A, λ_A); KüG α ; DÜG d

Ges: B (φ_B, λ_B)

1. Schritt :

$$\Delta\varphi = b = d * \cos(\alpha)$$

$$\Delta\varphi =$$

$$\varphi_B = \varphi_A + \Delta\varphi$$

$$\varphi_B = \text{_____}^\circ \text{ (N/S)}$$

2. Schritt :

$$\Phi = (10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + \varphi_A / 2) \quad \Phi_A =$$

$$\Phi = (10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + \varphi_B / 2) \quad \Phi_B =$$

$$\Delta\Phi = \Phi_B - \Phi_A$$

$$\Delta\Phi =$$

$$\lambda = \Delta\Phi * \tan(\alpha_{Lox})$$

$$\lambda =$$

$$\Delta\lambda = \lambda / 60$$

$$\Delta\lambda =$$

$$\lambda_B = \lambda_A + \Delta\lambda$$

$$\lambda_B = \text{_____}^\circ \text{ (W/E)}$$

Fall 2

Geg: A (φ_A, λ_A), B (φ_B, λ_B)

Ges: KüG α , DÜG d

1. Schritt :

$$\Phi = (10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + \varphi_A / 2)$$

$$\Phi_A =$$

$$\Phi = (10.800 / \pi) * \ln \tan (45^\circ + \varphi_B / 2)$$

$$\Phi_B =$$

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A < = > \lambda$$

$$\Delta\lambda =$$

$$\lambda = \Delta\lambda * 60$$

$$\lambda =$$

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A < = > \beta$$

$$\Delta\varphi = \square\square$$

$$b = \Delta\varphi * 60$$

$$b =$$

$$\Delta\Phi = \Phi_B - \Phi_A$$

$$\Delta\Phi =$$

$$\alpha_{Lox} = \arctan(\lambda / \Delta\Phi)$$

$$\alpha_{Lox} =$$

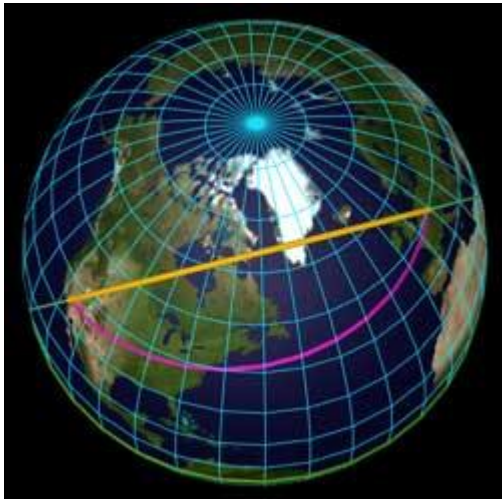
$$\alpha_{Lox} =$$

2. Schritt:

$$d = b / \cos(\alpha_{Lox})$$

$$d =$$

Durch zwei Orte A und B auf der Erdkugel - Gegenpole ausgenommen - lassen sich beliebig viele Kleinkreise, aber nur ein Großkreis legen. Unter all diesen Kreisen hat der Großkreis den größten Radius, als auch die kleinste Krümmung. Daher kommt der Großkreis (Orthodrome) der geradlinigen Sehnenverbindung von A nach B am nächsten und ist die kürzeste Verbindung zwischen A und B auf der Kugeloberfläche.



Bei geringem Breitenunterschied, in mittleren oder hohen Breiten - besonders bei großer Entfernung zwischen A und B - kann der Unterschied zwischen Orthodrome und Loxodrome mehrere 100 sm betragen.

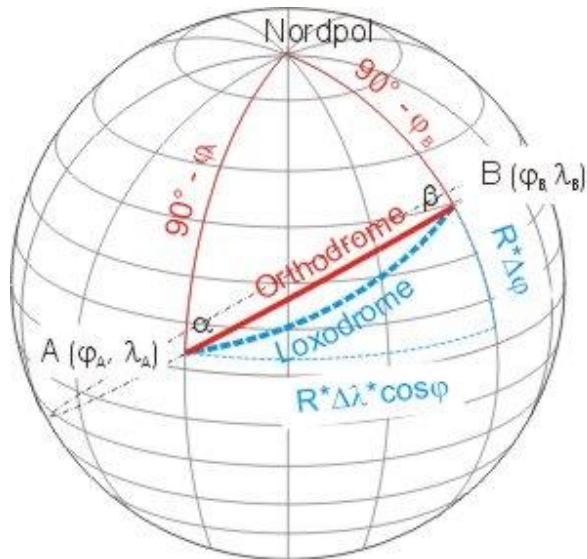
Im Gegensatz zur Loxodrome schneidet der Großkreis die Meridiane in verschiedenen Winkeln, d. h. das Segeln auf dem Großkreis erfordert fortlaufende Kursänderungen. Die Punkte **S**, in denen der Großkreis seine **größte nördliche bzw. südliche Breite** erreicht, heißen **Scheitelpunkte**. Bei der Planung einer Großkreisfahrt in hohen Breiten ist zu prüfen, ob der Scheitelpunkt in eisfreiem Gebiet liegt.

Großkreissegeln ist nur bei großem Entfernungsunterschied zwischen Loxodrome und Orthodrome sinnvoll. Bei der Planung sind Untiefen, Eis- und Sturmgebiete und gefährliche Hindernisse zu beachten. In manchen Fällen wird sich eine Kombination von Großkreis- und Loxodromsegelung anbieten, die so genannte „**Mischsegelung**“.

Das **terrestrisch-sphärische Grunddreieck** ist ein sphärisches Dreieck mit dem Abfahrtsort, dem Bestimmungsort und dem nächstgelegenen Pol als Eckpunkten.

Aufgaben der Großkreisrechnung:

- orthodromische Distanz
- Großkreis-Anfangskurs
- Großkreis-Endkurs (α)
- Geographische Koordinaten des Scheitels (φ_S, λ_S),
- Geographische Koordinaten der Meridianschnittpunkte (φ_M, λ_M).



Formelsammlung zur Großkreisnavigation:

Großkreisdistanz d_G zwischen Abfahrtsort (φ_A / λ_A) und Ankunftsart (φ_B / λ_B):

$$\Delta \lambda = (\lambda_B - \lambda_A)$$

$$d_{GK} [^\circ] = \arccos [\sin \varphi_A * \sin \varphi_B + \cos \varphi_A * \cos \varphi_B * \cos \Delta \lambda]$$

$$d_{GK} [sm] = d_{GK} [^\circ] * 60$$

Anfangskurs ohne Kenntnis von d_G :

$$\alpha'_{AK} = \arctan \frac{\sin(\lambda_B - \lambda_A)}{(\tan \varphi_B * \cos \varphi_A - \sin \varphi_A * \cos(\lambda_B - \lambda_A))}$$

	$\alpha' > 0$	$\alpha' < 0$
östliche Kurse:	$\alpha = \alpha'$	$\alpha = \alpha' + 180^\circ$
westliche Kurse:	$\alpha = \alpha' + 180^\circ$	$\alpha = \alpha' + 360^\circ$

Anfangskurs nach der Ermittlung von d_G :

$$\alpha_{AK} = \arccos \frac{(\sin \varphi_B - \cos d_{GK} [^\circ] * \sin \varphi_A)}{(\cos \varphi_A * \sin d_{GK})}$$

bei östlichen Kursen:	$0^\circ <$	$\alpha = \alpha$	$< 180^\circ$
bei westlichen Kursen:	$180^\circ <$	$\alpha = 360^\circ - \alpha'$	$< 360^\circ$

Endkurs nach der Ermittlung von d_G :

$$\beta'_{EK} = \arccos \frac{(\sin \varphi_A - \cos d_{GK} [^\circ] * \sin \varphi_B)}{(\cos \varphi_B * \sin d_{GK} [^\circ])}$$

Endkurs ohne Kenntnis von d_G : $\beta'_{EK} = \arcsin (\cos \varphi_A * \sin \alpha'_{AK} / \cos \varphi_B)$

$0^\circ < \alpha' < 90^\circ$:	$\beta = 180^\circ - \beta'$
$90^\circ < \alpha' < 180^\circ$:	$\beta = \beta' + 180^\circ$
$180^\circ < \alpha' < 270^\circ$:	$\beta = 360^\circ - \beta'$
$270^\circ < \alpha' < 360^\circ$:	$\beta = \beta' + 180^\circ$

Scheitelpunkt:

$$|\varphi_\Sigma| = |\arccos (\sin \alpha * \cos \varphi_A)| \quad (\varphi_\Sigma \text{ ist mit } \varphi_A \text{ gleichnamig})$$

$$|\Delta \lambda_\Sigma| = |\arctan (\varphi_A / \tan \varphi_\Sigma)| \quad \text{oder} \quad \tan \Delta \lambda_\Sigma = 1 / [\sin \varphi_A * \tan \alpha]$$

$$\lambda_S = \lambda_A + \Delta \lambda_S$$

Meridian-Schnittpunkte für vorgegebene Meridiane λ_M :

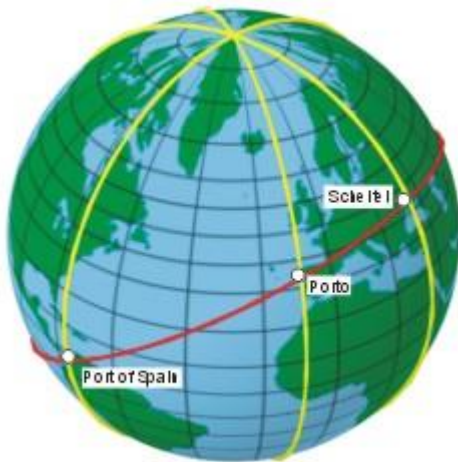
$$\varphi_M = \arctan (\tan \varphi_S * \cos(\lambda_M - \lambda_S))$$

Dreieckswinkel beim Wegpunkt α_M :

$$\sin \alpha_M = \arcsin (\cos \varphi_S / \cos \varphi_M)$$

Beispiel:

Die Fahrt soll von Porto in Portugal ($\varphi_{\text{Porto}} = 41^\circ 09,47' \text{ N} = 41,1578^\circ$, $\lambda_{\text{Porto}} = 008^\circ 38' \text{ W} = -8,6333^\circ$) nach Port of Spain auf Trinidad ($\varphi_{\text{PoS}} = 10^\circ 40,33' \text{ N} = 10,6722^\circ$, $\lambda_{\text{PoS}} = 061^\circ 32' \text{ W} = -61,5333^\circ$) gehen.



Die Entfernung beträgt 3.322,8 sm.

Der Startkurs in Porto ergibt $\alpha = 108^\circ$. Den Startkurs (relativ zur Nordrichtung) erhält man offensichtlich, wenn man den Dreieckswinkel von 360° abzieht: Startkurs = $360^\circ - 108^\circ = 252^\circ$.

Und der Ankurs in Port of Spain ist $\beta = 47^\circ$; der navigatorische Sachverstand sagt einem: der Steuerkurs ergibt sich durch Addition von 180° : Ankurs = $180^\circ + 47^\circ = 227^\circ$.

Die Breite des Scheitelpunktes: $\varphi_S = 44^\circ 11,1' \text{ N}$

Die Länge des Scheitelpunktes: $\lambda_S = 017^\circ 17,2' \text{ E}$

Unterschied der Länge B zu A: $\Delta\lambda_S = 25^\circ 55,2'$

Mit den Koordinaten des Scheitelpunktes und der vorgegebenen Länge λ_{WP} eines Wegpunktes kann man mit dem Taschenrechner bequem die Breite φ_{WP} des Wegpunktes nach der oben angegebenen Formel berechnen.

		Wegpunkt-Koordinaten	
λ_{WP}	φ_{WP}	α_{WP}	Kurs
10,0000°	40° 49'	71°	251°
15,0000°	39° 25'	68°	248°
20,0000°	37° 42'	65°	245°
25,0000°	35° 43'	62°	242°
30,0000°	33° 24'	59°	239°
35,0000°	30° 44'	57°	237°
40,0000°	27° 43'	54°	234°
45,0000°	24° 19'	52°	232°
50,0000°	20° 34'	50°	230°
55,0000°	16° 28'	48°	228°
60,0000°	12° 41'	47°	227°

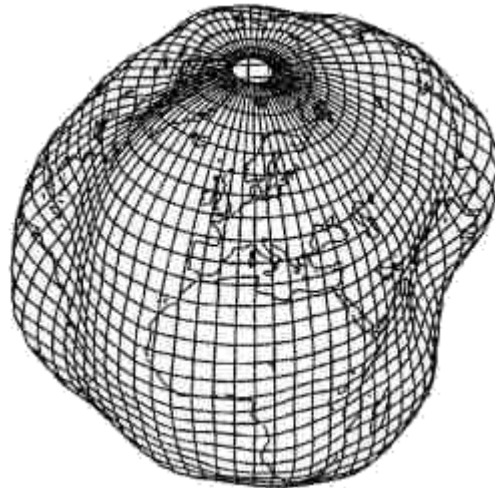
Zur Info:

Loxodrome Werte: Küg: 236,9°
DüG: 3.348,6 sm

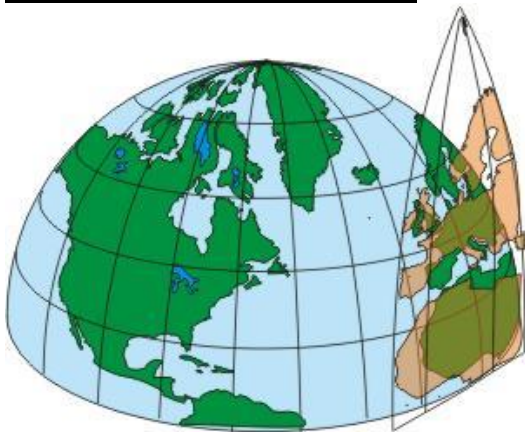
Je nach Verwendungszweck der Karte wird die Erdoberfläche nach unterschiedlichen Algorithmen auf eine ebene (Karten-) Fläche projiziert. Für übliche Landkarten verwendet man die orthografische Projektion, für Seekarten die Mercatorprojektion und für Wetterkarten die gnomonische Projektion.

Jedes Land benutzt traditionell ein eigenes Geoid, das die tatsächliche Landfläche optimal anpaßt und eigene Höhenbezugspunkte. Das ist natürlich nicht optimal, denn beim Anschluß der Karten zweier Länder muß man immer umrechnen. Deshalb wurde in der EU ein neuer Höhenbezugspunkt definiert: der Amsterdamer Pegel. Seit 1992 werden deutsche Karten auf diesem neuen Bezugspunkt bezogen (allerdings nur die neu erstellten). Ein weiterer Vorteil des einheitlichen Bezugspunktes ist die einheitliche Höhenangabe der Küstenregionen (europäische Seekarten beziehen die Meerestiefe schon länger auf den Amsterdamer Pegel).

Es ist offensichtlich, dass man Kartenanschlüsse nur durch Sichtverbindungen eindeutig zuordnen kann. Probleme gibt es zwischen Kontinenten, z. B. zwischen Europa und Amerika. Deshalb hat die International Geodetic Union (IGU) ein Geoid definiert; das derzeitig verwendete ist das Geoid WGS84. Nun kann man - mit Hilfe von GPS - den Bezug nationaler Landkarten über dieses Geoid herstellen. WGS84 wird auch für Seekarten als Referenzgeoid verwendet. Allerdings kann man auf hoher See nicht triangulieren, sodass es nur für die Satellitennavigation relevant ist. Das WGS84 schließt sich an die tatsächliche Gestalt der Erde bestmöglich an; die lokale Abweichung beträgt maximal 100 m. Für Europa betragen die Abweichungen zwischen 50 und 60 m, es gibt also ein Ellipsoid, das sich besser anschießt, das Bessel-Geoid.



Die orthografische Projektion



Bei der orthografischen Projektion wird die Kugeloberfläche wie eine Apfelsinenschale in Spalten abgeschält und eingeebnet. Diese Projektion ist flächentreu. Für Strassenkarten muss man aber eine Korrektur anbringen, um Entfernungen richtig abzubilden. In orthografischen Karten sind die Breitengrade gerade Linien, die Meridiane sind gebogen.

Die Mercator-Projektion

Der Vorteil der von Mercator in der Seefahrt eingeführten Zylinderprojektion - gegenüber der für Landkarten üblichen orthographischen Projektion - ist, dass die Verbindungslinie zwischen zwei Orten direkt den zu steuernden Kurs ablesen lässt: sie ist winkeltreu, bildet aber Flächen nicht richtig ab. Meridiane und Längengrade sind gerade Linien. Der Nachteil liegt in der mit steigender geographischer Höhe wachsenden Verzerrung von waagrechten Strecken.

Bei der Mercator-Projektion wird aus $\Delta\varphi \rightarrow \Delta y$ und aus $\Delta\lambda \rightarrow \Delta x$, wobei $\Delta x = \Delta\lambda / \cos \Delta\varphi$.



Die gnomonische Projektion

Bei der gnomonischen Projektion wird die Kugeloberfläche auf eine eben Tangentialfläche projiziert. Dabei kann man den Erdmittelpunkt (Wetterkarten, Seekarten) oder den Gegenpol als Ausgangspunkt des Projektionsstrahls verwenden. Die Längengrade sind gerade Linien, die Meridiane Ellipsen bzw. Hyperbeln mit ungleichem Abstand, wenn der Erdmittelpunkt verwendet wird, bzw. gleichem Abstand, wenn der Gegenpol der Anfangspunkt des Projektionsstrahls ist. Zugbahnen von Tiefdruckgebieten (auf Großkreiskurs) sind gerade Linien.

