

Schütz, E. (1959): Die Vogelwelt des südkaspischen Tieflandes. Stuttgart. • Ders. (1964): Odinshøns (*Phalaropus lobatus* [L.]) ved det Kaspiske Hav. Dansk. Orn. Foren. Tidsskr. 58: 138–140. • Ders. (1971): Grundriß der Vogelzugskunde. 2. Aufl. Berlin & Hamburg. • Sielmann, H. (1943): Vögel über Haff und Wiesen. Königsberg (Pr.). • Smith, K. D. (1956): On the birds of the Aden protectorate. Ibis 98: 303–307. • Spitzenberger, F., & H. M. Steiner (1961): Wassertreter in Österreich. Egretta 4: 71–76. • Stanford, W. F. (1953): Winter distribution of the grey phalarope (*Phalaropus fulicarius*). Ibis 95: 483–491. • Sveriges ornitologiska förening (1970): Förteckning över Sveriges fåglar. Svensk natur, Stockholm. • Täning, Å. V. (1933): The winter quarters of the phalaropes. Ibis 75: 132–133. • Ticehurst, C. B. (1924): The birds of Sind. Ibis 66: 126. • Tischler, F. (1941): Die Vögel Ostpreußens und seiner Nachbargebiete. 2. Teilband. Königsberg (Pr.) & Berlin. • Vasiliu, G. D. (1968): Systema avium Romaniae. Paris. • Vaurie, Ch. (1965): The birds of the palearctic fauna. Non-Passeriformes. London. • Vennables, L. S. V., & U. M. (1955): Birds and mammals of Shetland. London. • Vik, R. (1969): Fuglene i farger. 4. Aufl. Oslo. • Voous, K. H. (1962): Die Vogelwelt Europas und ihre Verbreitung. Hamburg & Berlin. • Witherby, H. F., F. C. R. Jourdain, N. F. Ticehurst & B. W. Tucker (1958): The handbook of British birds. Bd. 4. London.

Anschrift des Verfassers: Heinrich Schiemann, 54 Koblenz, Horchheimer Höhe 9.

Die Vogelwarte 26, 1972: 336–346

Formel für Orthodrome und Loxodrome bei der Berechnung von Richtung und Distanz zwischen Beringungs- und Wiederfundort

Von Christoph und Dieter Imboden

Herrn Dr. A. SCHIFFERLI zum sechzigsten Geburtstag gewidmet

1. Einführung

Bei der Bearbeitung eines Ringfundes wurde früher die Richtung und die Distanz zwischen Beringungs- und Wiederfundort auf den Landkarten ausgemessen. Besonders bei großen Distanzen führt dies infolge der verschiedenartigen Kartenprojektionen und ihrer Verzerrungen zu großen Meßfehlern. Heute können diese Werte mit dem Computer auf Grund der geographischen Koordinaten genau berechnet werden. Euring (Vereinigung der europäischen Beringungszentralen) hat mit der Einführung der Computer-Lochkarten für die Ringfunde die dazu nötigen Voraussetzungen geschaffen.

Für die Berechnung von Richtung und Distanz zwischen zwei Punkten auf der Kugel-(Erd-)oberfläche stehen zwei verschiedene Formeln zur Verfügung: Orthodrome und Loxodrome. (Die Namen bezeichnen eigentlich die Verbindungskurven zwischen den beiden Punkten.) Die orthodrome Formel wurde in der ornithologischen Literatur bereits beschrieben (FREDGA 1962, KERN 1962) und bei Ringfundauswertungen auch praktisch angewendet (z. B. HÖGSTEDT & PERSSON 1971 für die Berechnung von Durchschnittswinkeln), während auf die Loxodrome, welche im Euring-Computerprogramm benützt wird, erst in einem von A. C. PERDECK verfaßten Euring-Rundschreiben (14. Aug. 1968) hingewiesen wurde. Da die Resultate der beiden Formeln mit größer werdender Distanz in der Regel zunehmend voneinander abweichen und die früheren Beschreibungen der Orthodrome Mängel aufweisen, erklären wir hier die Grundlagen der beiden Formeln und diskutieren die Unterschiede.

Für kritische Prüfung des Manuskripts und für Berichtigungen danken wir Herrn Prof. Dr. E. GLOCK, Universität Clausthal-Zellerfeld.

2. Mathematische Grundlagen

2.1. Begriffe

λ_1/φ_1 : Breiten- und Längenkoordinate von P_1

λ_2/φ_2 : Breiten- und Längenkoordinate von P_2

Für die Berechnungen werden die Winkel in das Bogenmaß umgewandelt. λ ist positiv in der nördlichen Hemisphäre, in der südlichen negativ. φ ist östlich Greenwich positiv, westlich davon negativ.

$\Delta\varphi$: Differenz $\varphi_2 - \varphi_1$ ¹

D_o, D_L : orthodrome, resp. loxodrome Distanz. Sie wird zunächst im Bogenmaß berechnet und durch Multiplikation mit dem Erdradius in km umgewandelt.

α_o, α_L : Winkel der Kurve P_1P_2 zur Nordrichtung (Längengrade). Berechnet im Bogenmaß; wird in Grad umgewandelt mit dem Faktor $\frac{180^\circ}{\pi}$.

2.2. Orthodrome

Die Orthodrome ist die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten auf der Kugeloberfläche. Sie ist die Schnittlinie der durch P_1P_2 und den Kugelmittelpunkt bestimmten Ebene mit der Kugeloberfläche (= Großkreisbogen). Beim sphärischen Koordinatennetz sind alle Längengrade und der Äquator, nicht aber die übrigen Breitenkreise, solche Großkreisbogen. Zeichnungen zum Verständnis und für die Konstruktion dieser kürzesten Großkreisverbindungen befinden sich in KERN (1962) und FREDGA (1962).

Die Distanzformel lautet:

$$\cos D_o = \sin \lambda_1 \cdot \sin \lambda_2 + \cos \lambda_1 \cdot \cos \lambda_2 \cdot \cos \Delta\varphi. \quad (1)$$

Die Orthodrome besitzt, im Gegensatz zur Loxodrome, keinen konstanten Schnittwinkel mit den Längengraden; der sog. Kurswinkel verändert sich auf der Strecke P_1P_2 ständig. Wir betrachten diese Veränderung des Winkels am Beispiel einer einfachen West-Ost-Verbindung über eine Distanz von $\Delta\varphi = 70^\circ$ auf der Höhe des 50. Breitengrades. Die kürzeste Verbindung ist in diesem Fall nicht der Breitenkreis (dies trifft nur auf dem Äquator zu), sondern eine Linie, die polwärts des Breitenkreises „bogenartig“ verläuft. Der Schnittwinkel mit den Meridianen, der anfangs rund $61,5^\circ$ beträgt, wird mit zunehmender Distanz monoton größer. Im Mittelpunkt der Strecke ist der Winkel 90° , an deren Ende supplementär zum Anfangswinkel, also $118,5^\circ$.

Die von KERN (1962) angegebene und von anderen Autoren (DE VRIES 1967, HÖGSTEDT & PERSSON 1971) übernommene Formel für den Kurswinkel ist in Wirklichkeit lediglich der Anfangswinkel in P_1 :

$$\sin \alpha_o^A = \frac{\cos \lambda_2 \cdot \sin \Delta\varphi}{\sin D_o} \quad (2)$$

Entsprechend gibt es einen Endwinkel in P_2 :

$$\sin \alpha_o^E = \frac{\cos \lambda_1 \cdot \sin \Delta\varphi}{\sin D_o} \quad (3)$$

Mit einer weiteren Formel ließe sich in jedem Punkt zwischen P_1 und P_2 der momentane Winkel zur Nordrichtung feststellen. — Es ist also falsch, bei der Verwendung der orthodromen Winkelform von einem Kurswinkel zu sprechen.

Die Bestimmung von α_o (Anfang- oder Endwinkel) beinhaltet eine weitere, bisher unbeachtet gebliebene Schwierigkeit: Der Sinus ist zwischen 0° und 180° keine

¹ Es empfiehlt sich, stets mit dem absoluten Betrag von $\Delta\varphi$ zu rechnen und für den Fall $\varphi_2 < \varphi_1$ am Schluß den Kurswinkel komplementär zu 360° zu wählen.

eindeutig umkehrbare Winkelfunktion. Wir müssen entscheiden, ob α_0 zwischen 0° und 90° oder supplementär dazu zwischen 90° und 180° liegt. In der Ebene wäre $\alpha_0 < 90^\circ$, wenn $\lambda_1 < \lambda_2$ und $\alpha_0 > 90^\circ$, wenn $\lambda_1 > \lambda_2$. Auf der Kugeloberfläche hingegen kann bei größerem $\Delta\varphi$ der orthodrome Abflugwinkel kleiner als 90° sein, auch wenn $\lambda_1 > \lambda_2$, P_2 also auf einem südlicheren Breitenkreis liegt als P_1 . Es gilt daher, bei gegebenem λ_1 und $\Delta\varphi$ denjenigen Breitenwinkel λ_2' zu finden, auf welchem der Endpunkt einer Bahn mit dem Anfangswinkel $\alpha_0 = 90^\circ$ liegt:

$$\sin \alpha_0 = 1 = \frac{\cos \lambda_2' \cdot \sin \Delta\varphi}{\sin D_0}.$$

Die Auflösung dieser Gleichung nach λ_2' ergibt

$$\cos \lambda_2' = \frac{\cos \lambda_1}{\sqrt{\cos^2 \lambda_1 + \sin^2 \lambda_1 \cdot \cos^2 \Delta\varphi}} \quad (4)$$

Für das Vorzeichen von λ_2' gilt, falls $\lambda_1 > 0$:

Wenn $\Delta\varphi < 90^\circ$, dann ist $\lambda_2' > 0$ (nördliche Hemisphäre)

Wenn $\Delta\varphi > 90^\circ$, dann ist $\lambda_2' < 0$ (südliche Hemisphäre)

Wenn $\Delta\varphi = 90^\circ$, dann ist $\lambda_2' = 0$ (d. h. der gesuchte Endpunkt liegt in diesem Fall unabhängig von λ_1 immer auf dem Äquator!) – Bei negativem λ_1 ist diese Beziehung umgekehrt.

Aus dem Vergleich von λ_2' und λ_2 läßt sich nun der Winkel durch folgende Beziehung festlegen:

Wenn $\lambda_2 \geq \lambda_2'$, dann ist $0^\circ \leq \alpha_0 \leq 90^\circ$

Wenn $\lambda_2 < \lambda_2'$, dann ist $90^\circ < \alpha_0 \leq 180^\circ$

Diese Beziehungen gelten auch für $\lambda_1 < 0$, wenn man die erwähnte umgekehrte Vorzeichenwahl von λ_2' berücksichtigt. Man beachte, daß wir immer nur ein positives $\Delta\varphi$ betrachten.

2.3. Loxodrome

Die Loxodrome ist jene Kurve zwischen zwei Punkten auf der Erdoberfläche, welche alle Längengrade unter einem konstanten Winkel schneidet (= Kurve des konstanten Kurswinkels). Auf der Merkatorkarte, welche winkeltreu, nicht aber längentreu ist, bildet die Loxodrome zwischen P_1 und P_2 eine Gerade. Für die rechtwinklige Merkatorprojektion legt man einen Zylindermantel um die Erde, welcher diese am Äquator berührt. (Bei der schiefwinkligen Projektion wird ein anderer Großkreis zur Berührungslinie.) Ein Punkt auf der Kugel mit den Winkelkoordinaten λ und φ wird in einem Zylindermantelpunkt mit den rechtwinkligen Koordinaten x und y abgebildet nach den Formeln

$$\begin{aligned} x &= g(\varphi) \\ y &= f(\lambda) \end{aligned}$$

f und g sind so zu bestimmende Funktionen, daß die Abbildung winkeltreu wird. Bei der Merkatorprojektion gilt definitionsgemäß

$$x = \varphi, \quad (5)$$

denn alle Breitenkreise werden längenmäßig auf den Umfang des Äquators verlängert. Der Äquator selber wird längentreu abgebildet und entspricht der x -Achse.

Aus dem Buch von BÄSCHLIN (1948) entnimmt man, daß für die Winkeltreue die Funktion f folgendermaßen zu wählen ist:

$$y = \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\lambda}{2} \right) \quad (6)$$

Die Verbindungsgerade zwischen zwei auf die Merkatorkarte abgebildeten Punkten ist die loxodrome Verbindung dieser zwei Punkte. Diese Gerade mit der Gleichung

$$y = A + Bx \quad (7)$$

muß zur Erhaltung der Loxodrome auf der Kugel zurück auf die Kugeloberfläche abgebildet werden. Setzen wir (5) und (6) in (7) ein, so erhalten wir

$$\varphi = \frac{1}{B} \left[\ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\lambda}{2} \right) - A \right] \quad (8)$$

Gleichung (8) vermittelt den Zusammenhang von Längen- und Breitenwinkel auf der Kugel für die Loxodrome. — Auf eine weitere Herleitung der loxodromen Distanz- und Winkelformel wird hier verzichtet, da sie für das Verständnis nicht mehr wichtig ist.

Für den konstanten loxodromen Winkel kommt man auf folgende Schlußformel:

$$\operatorname{tg} \alpha_L = \frac{\Delta \varphi}{\ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\lambda_2}{2} \right) - \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\lambda_1}{2} \right)} \quad (9)$$

Wenn $\lambda_2 < \lambda_1$, erhalten wir einen negativen $\operatorname{tg} \alpha_L$. In diesem Fall liegt α_L zwischen 90° und 180° . Um α_L zu erhalten, muß man dann den Winkel für den entsprechenden positiven $\operatorname{tg} \alpha_L$ von 180° abziehen. Im oben erwähnten Euring-Rundschreiben werden die Winkel nicht im Bogenmaß, sondern in Grad verwendet und anstelle des natürlichen steht der 10-er Logarithmus. Dadurch muß (9) auf der rechten Seite mit dem Faktor $\frac{1}{132}$ multipliziert werden.

Die Distanzformel der Loxodrome lautet:

$$D_L = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_L + 1} (\lambda_2 - \lambda_1) = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\cos \alpha_L} \quad (10)$$

Falls $\lambda_1 = \lambda_2$, wird $\alpha_L = 90^\circ$. Der Tangens von 90° ist unendlich und die Formeln (9) und (10) daher nicht mehr anwendbar. Für diesen Spezialfall ist die Loxodrome identisch mit dem Breitenkreis. Die Distanzformel heißt dann:

$$D_L = \cos \lambda_1 \Delta \varphi. \quad (11)$$

3. Unterschiede

3.1. Theoretische Unterschiede

Die Orthodrome ist die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten auf der Erdoberfläche; daher gilt immer $D_L \geq D_0$. Beim Winkelvergleich beschränken wir uns bei der Orthodrome auf den Anfangswinkel in P_1 . Dieser kann größer oder kleiner sein als der konstante loxodrome Kurswinkel. Die relativen Fehler $\frac{D_L - D_0}{D_0}$ und $\frac{\alpha_0 - \alpha_L}{\alpha_L}$ hängen von λ_1 , λ_2 und $\Delta \varphi$ ab. Generell haben wir einen zunehmenden Fehler mit größer werdendem $\Delta \varphi$ und je weiter λ_1 oder (und) λ_2 polwärts liegen.

Abb. 1 ist ein Diagramm für den relativen Distanzfehler bei einer Ausgangsbreite $\lambda_1 = 50^\circ \text{N}$ (Frankfurt). Auf der Ordinate ist der Breitenwinkel λ_2 , auf der Abszisse die Differenz der Längenwinkel $\Delta \varphi$ aufgetragen. Die Kurven verbinden die Punkte mit gleichem relativen Fehler. Für die westwärts gerichteten Verbindungen mit negativem $\Delta \varphi$ entsteht ein zur y-Achse symmetrisches Bild. Die Differenzen zwischen orthodromer und loxodromer Verbindungslinie werden erst bei größerem $\Delta \varphi$ von Bedeutung. Bei $\Delta \varphi = 40^\circ$ (ca. 4400 km) ist der relative Fehler von jeder Ausgangsbreite und in allen Richtungen noch kleiner als 0.02 (= 2%). Es besteht ein deutliches Fehlerminimum im Bereiche von $\lambda_2 = -\lambda_1$, d. h. wenn λ_1 und λ_2 symmetrisch zum Äquator liegen. Je stärker $P_1 P_2$ zur Nord-Süd-Verbindung wird, desto kleiner sind die Distanzunterschiede. Wenn $\Delta \varphi = 0$ (Längenkreis), dann ist $D_L = D_0$ (und $\alpha_L = \alpha_0$). Ähnliche Fehlerkurven können für jedes andere λ_1 berechnet werden. In Kenntnis der

Abb. 1:
Fehlerkurven für den Unterschied zwischen orthodromer und loxodromer Distanz bei einer Ausgangsbreite von $\lambda_1 = 50^\circ\text{N}$. Die Kurven verbinden die Punkte mit gleichem relativem Fehler. Für negatives $\Delta\varphi$ wäre das Bild symmetrisch zur Ordinate.

Fig. 1:
Curves connecting the points of same relative errors between the loxodromic and orthodromic distances. The latitude of P_1 is 50°N .

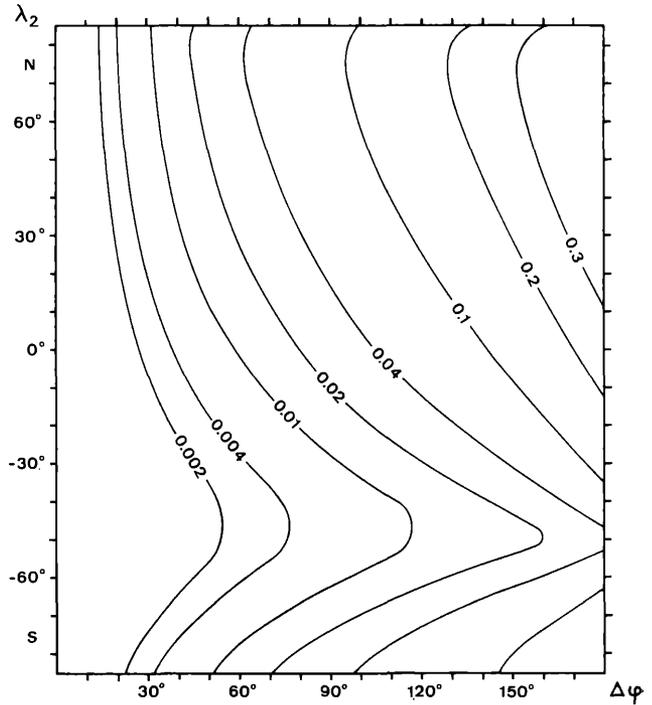
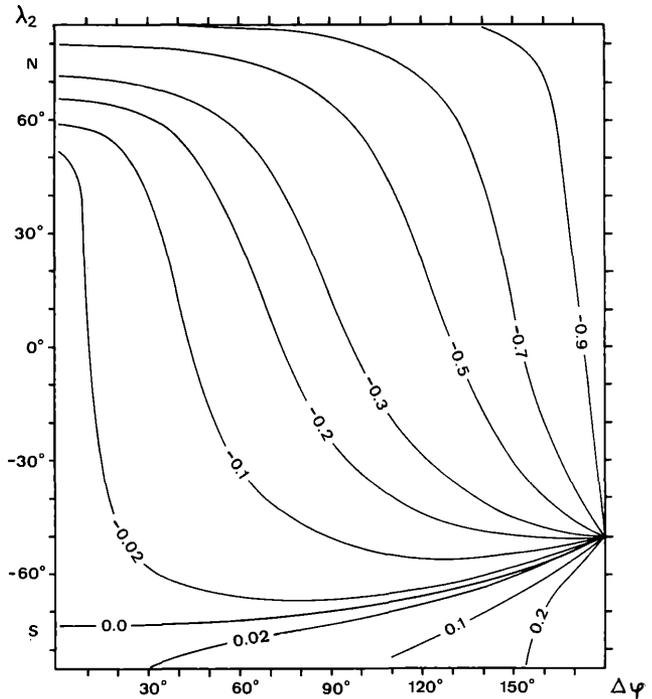


Abb. 2:
Fehlerkurven für den Unterschied zwischen dem Winkel der Loxodrome und dem Anfangswinkel der Orthodrome.

Fig. 2:
Curves of error for the differences of the loxodromic and orthodromic angles.



Nr.	Koordinaten		Distanz [km]	Winkel [Grad]					
	P ₁	P ₂		D ₀	DL	RF	α _L	RF	
1	50.00N/11.48E	46.00N/ 5.36E	Deutschland – Frankreich	640.1	640.3	0.0003	228.4	226.0	0.0104
2	51.12N/12.06E	60.12N/ 5.42E	Deutschland – Norwegen	1076.4	1076.8	0.0004	340.8	338.3	0.0074
3	47.06N/ 8.12E	51.30N/ 3.42W	Schweiz – England	989.7	990.8	0.0011	304.0	299.6	0.0147
4	47.30N/ 7.36E	37.06N/ 7.54W	Schweiz – Portugal	1714.5	1716.9	0.0014	233.3	227.7	0.0245
5	49.30N/ 8.30E	52.24N/30.24E	Deutschland – UdSSR	1560.5	1566.3	0.0037	69.7	78.1	-0.1075
6	47.12N/ 8.48E	5.30S /12.18E	Schweiz – Kongo	5867.3	5867.4	0.0000	175.6	176.6	-0.0056
7	58.12N/15.42E	34.06S /18.48E	Schweden – Südafrika	10262.5	10262.6	0.0000	177.4	178.4	-0.0052
8	46.36N/ 8.30E	33.54N/34.42E	Schweiz – Libanon	2613.7	2623.5	0.0037	113.3	122.5	-0.0754
9	47.12N/ 8.00E	33.36N/46.24E	Schweiz – Iran	3538.5	3567.4	0.0082	101.3	115.1	-0.1201
10	65.00N/24.48E	32.18N/ 9.18W	Finnland – Marokko	4304.7	4342.3	0.0087	229.2	213.2	0.0753
11	60.06N/ 2.06W	68.42N/52.42W	England – Grönland	2521.7	2590.4	0.0273	313.3	291.7	0.0742
12	51.42N/ 5.18W	33.12S/134.30E	England – Australien	16190.4	16689.0	0.0308	73.3	124.4	-0.4110
13	47.06N/ 8.18E	66.36N/66.42E	Schweiz – UdSSR	3947.3	4073.8	0.0320	35.6	57.9	-0.3845
14	53.48N/ 7.54E	58.48N/91.39E	Deutschland – UdSSR	4849.1	5182.3	0.0687	48.3	83.8	-0.4243
15	51.48N/ 2.18W	73.30N/80.24E	England – UdSSR	4351.1	4673.9	0.0742	26.5	58.9	-0.5502

Tab. 1: Vergleich von orthodromen und loxodromen Distanz- und Winkelberechnungen. Die Beispiele wurden den Ringfundberichten der verschiedenen Länder entnommen. D₀: orthodrome Distanz, D_L: loxodrome Distanz, α₀: orthodromer Anfangswinkel, α_L: loxodromer Winkel, RF: Relativer Fehler $\frac{D_L - D_0}{D_0}$, resp. $\frac{\alpha_0 - \alpha_L}{\alpha_L}$. Die Ringfunde stammen von folgenden Arten: *Puffinus puffinus* (Nr. 12), *Ixobrychus minutus* (6), *Anas penelope* (3), *Aythya fuligula* (13), *Anser albifrons* (15), *Vanellus vanellus* (10, 14), *Stercorarius parasiticus* (11), *Sterna hirundo* (7), *Cuculus canorus* (2), *Lanius senator* (4), *Lanius collurio* (8), *Acrocephalus palustris* (9), *Bombycilla garrulus* (1, 5).

Table 1: Comparison of orthodromic and loxodromic distances and directions.

oben erwähnten Symmetrie von λ_1 und den Kurvenminima zum Äquator lassen sich solch andere Diagramme gut vorstellen.

Abb. 2 zeigt das entsprechende Diagramm für den relativen Winkelfehler (ebenfals $\lambda_1 = 50^\circ$). Da $\alpha_0 \cong \alpha_L$ sein kann, treten negative und positive Fehlerwerte auf, und es gibt dazwischen eine Kurve gleicher Winkel. Alle Kurven laufen im Punkt $\lambda_2 = -\lambda_1$ und $\Delta\varphi = 180^\circ$ zusammen. Die Winkelfehler sind im allgemeinen viel größer als die dazu gehörenden Distanzfehler. Bei einer Ost-West-Verbindung von $\Delta\varphi = 40^\circ$ beträgt er bereits über 18%. Im Sektor nordöstlich von λ_1 haben wir noch höhere Fehlerwerte, südöstlich sind sie kleiner und mit zunehmender Südrichtung gehen sie gegen 0 bis zum Grenzfall $\alpha_L = \alpha_0$.

3.2. Praktische Unterschiede

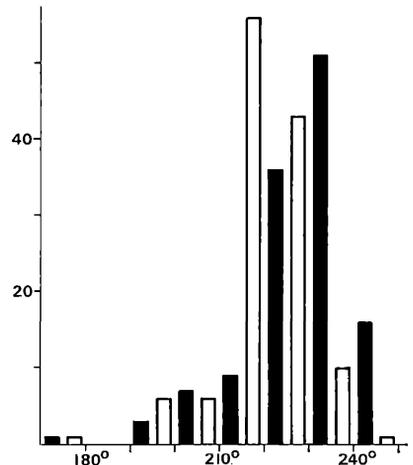
Aus den Ringfundberichten von fünf europäischen Ländern haben wir in Tab. 1 15 Ringfunde für die Diskussion der Fehlermöglichkeit zusammengestellt. Bei allen Kurzstreckenfundorten unter 500 km und bei Mittelstreckenfundorten, die in Europa meistens Richtung SW oder SE verlaufen, liegt der relative Distanzfehler stets unter 1% (Tab. 1, Nr. 1, 4, 8, 9). Bei Fernfunden in östlicher und nordöstlicher Richtung (Rußland, Sibirien, Nr. 13–15) und in nordwestlicher Richtung (Grönland, Nr. 11) ist er größer, dürfte aber den höchsten Wert in Tab. 1 von 7,4% nur selten übersteigen. Im südlichen Bereich sind selbst bei großen Distanzen von 10000 km (Zentral- und Südafrika) die Unterschiede zu vernachlässigen (Nr. 6, 7).

Mit Ausnahme der Wiederfunde im südlichen Sektor kann die Differenz zwischen den Winkelwerten schon bei Distanzen unter 3000 km mehr als 7% ausmachen (Nr. 5, 8, 10). Besonders stark differieren die Werte bei großen $\Delta\varphi$ und sehr nördlichem P_2 (Nr. 13–15).

Bei der Prüfung der Verteilung von Winkelwerten zwischen Beringungs- und Wiederfundorten sind diese Differenzen in Rechnung zu ziehen, denn es können für α_0 und α_L signifikant verschiedene Verteilungsmuster entstehen. Im Falle der in Finnland als Nestlinge beringten Kiebitze *Vanellus vanellus* ist der loxodrome Winkel im Durchschnitt 10 bis 15° kleiner als der orthodrome (Abb. 3). Auch bei der holländischen Brutpopulation mit kürzeren Distanzen zwischen Beringungs- und Fundort sind die Abweichungen signifikant.

Abb. 3:
Häufigkeitsdiagramm für den orthodromen Anfangswinkel (schwarze Säulen) und den loxodromen Winkel (weiße Säulen) zwischen Beringungs- und Fundort der in Finnland als nestjung und im ersten Lebensjahr zwischen August und April wiedergefundenen Kiebitze *Vanellus vanellus*. Klassenbreite: 10°

Fig. 3:
Orthodromic initial angle (black) and loxodromic angle (white) between ringing and finding place of Lapwings ringed in Finland as pull and re-found between August and April in their first year of life.



4. Diskussion

Um den Vergleich der beiden Formeln besser zu illustrieren, wurde in Tab. 1 eine Distanzgenauigkeit von 0,1 km gewählt. Bei der praktischen Auswertung von Ringfunden ist eine solche Genauigkeit selbstverständlich sinnlos. Die geographischen Koordinaten sind in der Regel mit recht großen Ungenauigkeiten behaftet, beziehen sie sich doch meistens auf eine dem Beringungs- und Wiederfundort nahe gelegene Ortschaft. In weniger dicht besiedelten Gebieten ergibt sich somit leicht ein Fehler von 10 km oder mehr. Im Hinblick auf diese regelmäßig auftretenden Fehler hat sich Euring für eine gröbere Koordinatenbezeichnung in Grad und Zehntelgrad entschieden. Folgerichtig werden die Distanzen dann nur in Einheiten von 10 km berechnet.

Eine weitere Tatsache verhindert selbst bei exakt bekannten Koordinaten eine allzu große Genauigkeit: Bei den Berechnungen setzen wir voraus, die Erde sei eine Kugel mit dem Radius 6368 km. Infolge der Polabplattung besteht aber zwischen Maximal- und Minimalradius eine Differenz von 21 km. Der relative Fehler zwischen Distanzberechnungen, die einerseits auf dem Maximal-, andererseits auf dem Minimalradius basieren, beträgt $3^{\circ}/00$. Er ist damit bei kurzen und mittleren Distanzen (bis ca. 2000 km) größer als der Unterschied zwischen Orthodrome und Loxodrome.

Die hier gezeigten Verschiedenheiten der beiden Berechnungsmethoden dürfen nicht überbewertet werden. Der Aussagewert der errechneten Größen, Distanz und Richtung, ist beschränkt und darf niemals in direkte Beziehung zur Zugleistung eines Vogels gesetzt werden. Auch wenn zwischen Beringung und Wiederfund eine sehr kurze Zeitspanne liegt, kann man nicht annehmen, der Vogel sei gradlinig vom Beringungs- zum Fundort geflogen. Meist aber handelt es sich um Zeitdifferenzen von mehreren Monaten oder Jahren. Der in der Schifffahrt und Fliegerei gebräuchliche Begriff des „Kurswinkels“ ist in diesem Zusammenhang besonders irreführend und sollte bei Ringfunden vermieden werden (z. B. KERN 1962, DE VRIES 1967). Richtung und Distanz eines Ringfundes sind Größen, welche die Lage von zwei Punkten zueinander charakterisieren, unabhängig von ihrer wirklichen Lage auf der Erdoberfläche, und sie ermöglichen uns, vergleichende Betrachtungen der Beziehungen zwischen Beringungs- und Wiederfundort. Welche Formel dabei angewendet wird, spielt eigentlich keine Rolle. Es ist lediglich darauf zu achten, daß die zu vergleichenden Funde stets mit derselben Methode berechnet wurden.

Dennoch scheint die Loxodrome die adäquatere Lösung. Bei langen Direktflügen, die bei der Überquerung von Meeren oder Wüsten bis zu 2000 km oder mehr betragen können, fliegt der Vogel vermutlich auf der Loxodrome mit konstantem Kurswinkel. Bei einer möglichen Orientierung nach der Sonne oder dem Sternenhimmel verlangt dies ja bereits die Einrichtung einer inneren Uhr für das Ausgleichen der Erdrotation. Die Navigation auf der Orthodrome wäre aber noch komplizierter, da der Kurswinkel laufend geändert werden müßte. Der Flug auf der Orthodrome verlangt einerseits die Kenntnis des Bahnzielpunktes und andererseits einen Streckenmesser, der den Anteil der bereits zurückgelegten Strecke angibt.

Zusammenfassung

1. Die Orthodrome ist die kürzeste Verbindung zwischen Beringungs- und Fundort. Ihr Winkel zur Nordrichtung ist jedoch nicht konstant. Die in der bisherigen Literatur angegebenen Winkelberechnungen (Anfangswinkel in P_1) sind unvollständig; sie werden hier ergänzt.
2. Die Loxodrome, deren Verwendung von Euring vorgeschlagen wurde, besitzt einen konstanten Winkel zur Nordrichtung und bildet auf der Merkatorkarte daher eine Gerade.
3. Die Winkel- und Distanzunterschiede zwischen Orthodrome und Loxodrome vergrößern sich einerseits mit zunehmender Distanz (vor allem bei Ost-West- oder nordwärts ge-

- richteten Verbindungen), andererseits je weiter einer der beiden Punkte (oder beide) polwärts liegen.
4. Bei kurzen Strecken unter ca. 600 km und bei mittleren Distanzen in Richtung SE, S und SW sind die Fehler zu vernachlässigen. Bei Langstreckenfundorten wird der Distanzfehler in der Praxis 7 bis 8% kaum übersteigen; die Winkel können hingegen bis zu 50% oder mehr differieren.
 5. Winkel und Distanz charakterisieren die Beziehung des Fundortes zum Beringungsort und besagen nichts über die unmittelbare Zugleistung des Vogels.
 6. Infolge der Eindeutigkeit des Winkels ist die Loxodrome der Orthodrome vorzuziehen.

Summary

Orthodromic and loxodromic formula for the calculation of distance and direction between ringing and finding place

1. The orthodromy is the shortest line between the place where the bird is ringed and the place where it is refound. Its northward angle is not constant. The angle computations (initial angle in P_1) indicated in the hitherto existing literature are incomplete; they will, however, be completed in this paper.
2. The loxodromic line, whose application has been suggested by Euring, possesses a constant northward angle, thus forming a straight line on Mercator's chart.
3. On the one hand, the angular and distance differences between the two lines augment with an increase in distance (especially the line directed from east to west, west to east or to the north). On the other, the differences increase the nearer to the pole one of the two points (or both) are situated.
4. The errors should be disregarded in short distances of less than about 600 km and in mean distances in the south-east, south and south-west. In long distances it was discovered that in practice the error in distance will hardly exceed 7 to 8%, the angles, however, may differ up to 50% or more.
5. Distance and direction characterize the relation between ringing and finding place and reveal nothing on the direct migratory performance of the bird.
6. Because of its clear angle, preference is given to the loxodromic line.

Literatur

Bäschlin, C. F. (1948): Lehrbuch der Geodäsie. Orell Füssli, Zürich. • Fredga, K. & K. (1962): Beräkning av „teoretiska fågelvägen“. Vår Fågelvärld 21: 205–207. • Högestedt, G., & C. Persson (1971): Phänologie und Überwinterung der über Falsterbo ziehenden Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*). Vogelwarte 26: 86–98. • Kern, H. (1962): Das Berechnen von Entfernung und Kurswinkel für Fernfunde beringter Vögel. Vogelwarte 21: 327–328. • de Vries, R. (1967): FORTRAN-Programm zum Berechnen von Entfernung und Kurswinkel für Nah- und Fernfunde beringter Vögel. Vogelwarte 24: 110–115.

Anhang

Computer-Programm (Fortran IV)

```

C      SUBROUTINE ORLOX
C
C      COMPUTATION OF ORTHODROMIC AND LOXODROMIC DISTANCE AND
C      DIRECTION BETWEEN RINGING AND FINDING PLACE
C
C      AUTHOR: CH. IMBODEN
C
C      DESCRIPTION OF PARAMETERS
C
C      ALA - INPUT OF LATITUDE ^ POINT A (RINGING PLACE)
C      ALO - INPUT OF LONGITUDE POINT A
C      BLA - INPUT OF LATITUDE POINT B (FINDING PLACE)
C      BLO - INPUT OF LONGITUDE POINT B
C
C      COORDINATES ARE GIVEN IN DEGREES (WITH DECIMAL PLACES)
C      MINUTES MUST BE CONVERTED TO DECIMAL PLACES IN THE
C      MAIN PROGRAM
C
C      DI - OUTPUT OF ORTHODROMIC DISTANCE (KM)

```

```

C      DL - OUTPUT OF LOXODROMIC  DISTANCE (KM)
C
C      WO - OUTPUT OF ORTHODROMIC ANGLE (DEGREES)
C      WL - OUTPUT OF LOXODROMIC  ANGLE (DEGREES)
C
C      DIRECTIONS:  0.0 NO DIRECTION (LOCAL FOUND)
C                   90.0 EAST
C                   180.0 SOUTH
C                   270.0 WEST
C                   360.0 NORTH
C
C      KZ - INPUT CODE FOR CALCULATIONS
C
C           0: COMPUTATION OF LOXODROMIC AND ORTHODROMIC VALUES
C           1: ONLY ORTHODROMIC VALUES
C           2: ONLY LOXODROMIC VALUES
C
C      SUBROUTINE ORLOX (ALA, ALO, BLA, BLO, DI, WO, DL, WL, KZ)
C
C      DATA PI/3.1415926/, ERD /6368./
C      ARCWI (GRAD) = GRAD*PI/180.
C
C      WO = 0.
C      DL = 0.
C      WL = 0.
C      DI = 0.
C      DELA = BLA-ALA
C      DELO = BLO-ALO
C      IF (DELA.EQ.0.0.AND.DELO.EQ.0.0) RETURN
C      IF (ABS (DELO) -180.) 10, 10, 5
C 5 IF (DELO) 6, 6, 7
C 6 DELO = DELO + 360.
C   GO TO 10
C 7 DELO = DELO -360.
C10 PH1 = ARCWI (ALA)
C   PH2 = ARCWI (BLA)
C   DEPH = ARCWI (DELA)
C   DESB = ARCWI (ABS (DELO))
C
C      IF (DELO) 12, 70, 12
C12 IF (KZ -1) 20, 20, 30
C
C      ORTHODROMIC FORMULA
C
C20 SPH1 = SIN (PH1)
C   CPH1 = COS (PH1)
C   CPH2 = COS (PH2)
C   CDSB = COS (DESB)
C   DI = ARCOS (SPH1 * SIN (PH2) + CPH1 * CPH2 * CDSB)
C   T = SIN (DESB) * CPH2 / SIN (DI)
C   IF (ABS (T).GT.1.0) T = AINT (T)
C   COBE = CPH1 / SQRT (CPH1 ** 2 + SPH1 ** 2 * CDSB ** 2)
C   BETA = SIGN (ARCOS (COBE), PH1)
C   IF (ABS (DELO).GT.90.) BETA = -BETA
C   WO = ARSIN (T) * 180./PI
C22 IF (PH2 - BETA) 25, 26, 26
C25 WO = 180. - WO
C26 IF (KZ - 1) 30, 80, 30
C
C      LOXODROMIC FORMULA
C
C30 IF (DELA) 40, 32, 40
C32 DL = DESB * COS (PH1)

```

WL = 90.
GO TO 75

C
40 PHN1 = ARCWI (45.+ALA/2.)
PHN2 = ARCWI (45.+BLA/2.)
A = ATAN ((DESB)/(ALOG (TAN (PHN2)) - ALOG (TAN (PHN1))))
DL = DEPH/COS (A)
IF (DELA) 50, 60, 60
50 A = PI + A
60 WL = A*180./PI
GO TO 75

C
70 DL = DEPH
WL = 360.
IF (PH2.LT. PH1) WL = 180.
DI = DL
WO = WL
75 DL = ABS (DL) * ERD
DI = ABS (DI) * ERD
IF (DELO) 77, 80, 80
77 WO = 360.-WO
WL = 360.-WL
80 RETURN
END

Anschrift der Verfasser: Dr. Ch. Imboden, Schweizerische Vogelwarte, CH 6204 Sempach, Schweiz; Dr. D. Imboden, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der E. T. H., CH 8600 Dübendorf, Schweiz.

Die Vogelwarte 26, 1972: 346–352

Aus der Staatl. Vogelschutzwarte Garmisch-Partenkirchen
bei der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München

Zur Jahresperiodik und Bestandsfluktuation alpiner Fichtenkreuzschnäbel (*Loxia curvirostra*)

Von Einhard Bezzel

Der Fichtenkreuzschnabel wird allgemein als „Invasionsvogel“ oder – was die Regelmäßigkeit seines Auftretens und die Wanderrichtung betrifft – als „Zigeunervogel“ bezeichnet, bei dessen unregelmäßigem Erscheinen jedoch eine „gewisse Periodizität nicht zu übersehen ist“ (SCHÜZ 1971). Für das Alpengebiet lassen sich die Informationen zur Statusangabe Jahresvogel mit sehr augenfälligen Bestandsschwankungen zusammenfassen (z. B. GLUTZ VON BLOTZHEIM 1962, NIEDERWOLFSGRUBER 1968, HABLE 1969), wobei eventuell invasionsartige Zu- und Abwanderungen noch nicht befriedigend geklärt sind (z. B. CORTI 1959, GLUTZ VON BLOTZHEIM 1962). Nicht selten wird auch angenommen, daß die Art in den Alpen „regelmäßig“ brüte (z. B. WÜST 1962). Beringungsergebnisse (z. B. GLUTZ VON BLOTZHEIM 1962, SCHIFFERLI 1963 und 1967, WEBER 1971/72) zeigen, daß auch im Alpenraum mit Wegzug über weite Entfernung zu rechnen ist und nordische Invasionsvögel von den Alpen aufgefangen werden. Zur Jahresperiodik wird im allgemeinen lediglich angegeben, daß Fichtenkreuzschnäbel während des ganzen Jahres brüten können, doch zeigt sich in kritischen Zusammenstellungen deutlich eine gewisse Periodizität im Brutablauf (z. B. GLUTZ VON BLOTZHEIM 1962, CORTI 1965; vgl. auch Abb. 1).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Vogelwarte - Zeitschrift für Vogelkunde](#)

Jahr/Year: 1972

Band/Volume: [26_1972](#)

Autor(en)/Author(s): Imboden Dieter M., Imboden Christoph

Artikel/Article: [Formel für Orthodrome und Loxodrome bei der Berechnung von Richtung und Distanz zwischen Beringungs- und Wiederfundort 336-346](#)