

Theoretische Grundlagen zur Berechnung von Zugintensitäten nach Mondbeobachtungen

Von Felix Liechti

Für quantitative Auswertungen von Mondbeobachtungen des Vogelzuges bedarf es zweier Voraussetzungen: einer Schätzung der Entfernungen der vor der Mondscheibe vorbeiziehenden Vögel und einer Schätzung der Richtung, in die die Vögel ziehen. Aus diesen Schätzungen lässt sich die Zugintensität berechnen. Die theoretischen Grundlagen zu diesen Berechnungen werden im Folgenden vorgestellt.

Distanzschätzung

Die Distanzschätzungen erfolgen indirekt über das Größenverhältnis der beobachteten Silhouetten in Bezug auf den auf dem auf dem Mond deutlich zu sehenden Krater Tycho (Durchmesser 85 km, Tiefe 4850 m, Auswurfmaterial bis zu 1500 km weit geschleudert). Aus parallel zu Mondbeobachteten durchgeführten Distanzmessungen mit dem Zielfolgeradar konnte der Zusammenhang zwischen Silhouettengröße und Entfernung bestimmt werden (LIECHTI et al. 1996). Mittlere Distanzen einer Silhouette können deshalb anhand einer relativen Größenskala geschätzt werden (Tab. 1). Die Einteilung der Silhouetten erfolgt dabei in einer siebenstufigen Skala von einer punktförmigen Silhouette bis zu einer Silhouette die den Durchmesser von Tycho um mehr als das vierfache übertrifft.

Berechnung der effektiven Flugrichtung

Die Flugrichtung eines Vogels bestimmt der Mondbeobachter durch die Bezeichnung des Ein- und Austrittspunktes der Silhouette in die - bzw. aus der Mondscheibe (Abb. 1). Diese relative Flugrichtung wird, bezogen auf 12 Uhr, in einen Winkel (α) umgewandelt. Zur Bestimmung der effektiven Flugrichtung werden die Elevation (β) und das Azimut (δ = Himmelsrichtung) des Mondes berücksichtigt (Abb. 2). Unter der Annahme, dass der Vogel auf konstanter Höhe fliegt, lässt sich die Flugrichtung (γ) bezüglich des Mondazimuts wie folgt bestimmen:

Gemäss Abb. 2 ist

$$\frac{w}{v} = \pm \tan(\alpha); \quad \frac{v}{u} = \sin(\phi); \quad \frac{w}{u} = \mp \tan(\gamma).$$

Wird w durch $v \cdot \tan(\alpha)$ und v durch $u \cdot \sin(\beta)$ ersetzt, resultiert:

$$\tan(\gamma) = -\tan(\alpha) \cdot \sin(\beta)$$

Unter Berücksichtigung der Periodizität des Tangens ergibt sich für die Flugrichtung bezüglich des Mondazimuts (für $\alpha = 0-360^\circ$):

$$\gamma = 180^\circ - \arctan[\tan(\alpha) \cdot \sin(\beta)] \quad | \alpha < 90^\circ \text{ oder } \alpha > 270^\circ$$

$$\gamma = -\arctan[\tan(\alpha) \cdot \sin(\beta)] \quad | \alpha > 90^\circ \text{ und } \alpha < 270^\circ$$

für $\alpha = 90^\circ$ (bzw. 270°) gilt $\alpha = \gamma$.

Um die effektive Flugrichtung (R_G) bezüglich Nord zu erhalten, muss noch der Winkel für das Mondazimut addiert werden:

$$R_G = \gamma + \delta.$$

Berechnung der Zugintensität

Als Maß für die Zugintensität wird allgemein die „Migration Traffic Rate“ (MTR) verwendet (LOWERY 1951). Sie bezeichnet die Anzahl der Vögel, die eine Strecke von 1 km quer zur Flugrichtung im Verlaufe einer Stunde überfliegen (in älteren Arbeiten bezogen auf 1 Landmeile = 1,609 km). Zur Berechnung der Zugintensität betrachten wir den Schnitt der Flugebene des Vogels mit dem überwachten Kegelausschnitt vor dem Mond (Abb. 2). Dieser Kegelschnitt bezeichnet eine Ellipse. Das bedeutet, dass die Länge der überwachten Strecke von der Distanz (d) und der Flugrichtung des Vogels abhängig ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel die Mondscheibe passiert, ist größer, wenn er senkrecht zur längsten Ellipsenachse (a) fliegt, als wenn er senkrecht zur kürzesten Achse (b) fliegt. Als relevante Bezugsgröße zur Berechnung der Zugintensität bezeichnen wir näherungsweise den senkrecht zur relativen Flugrichtung γ verlaufenden Ellipsendurchmesser ($2c$). Der halbe Durchmesser c berechnet sich anhand der Ellipsenhalbachsen a und b und der Distanz d wie folgt:

$$a = \frac{b}{\sin(\beta - \phi)}, \quad b = d \cdot \tan(\phi),$$

(5)

$$c = \frac{a \cdot b}{\sin(\gamma) \cdot \sqrt{b^2 + a^2 \cdot \tan^2(\gamma - 90^\circ)}}.$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel in einer bestimmten Richtungen vor dem Mond vorbeifliegt, ist somit proportional zur Ellipsenachse $2c$. Für die Berechnung der MTR wird jede Beobachtung mit dem Faktor $1/2c$ gewichtet (alle Maße in km). Somit berechnet sich die MTR für einen bestimmten Zeitraum (Δt) aus der gewichteten Summe aller in diesem Zeitraum beobachteten Vögel (n):

$$MTR = \frac{60}{\Delta t} \cdot \sum_{i=0}^n \frac{1}{2 \cdot c_i} \quad (\Delta t \text{ in Minuten}) \quad (6)$$

Je tiefer der Mond über dem Horizont steht, um so stärker verändert sich der Gewichtungsfaktor in Abhängigkeit der Flugrichtung. Beobachtungen bei Elevationen des Mondes unterhalb 15° sind daher sehr vorsichtig zu interpretieren, da bereits kleine Fehler in der Richtungsbestimmung erhebliche Unterschiede hervorbringen können (NISBET 1959). Die allen Berechnungen zugrunde liegende Annahme, dass die Flugwege geradlinig und horizontal verlaufen, dürfte für die meisten Vögel zutreffen (LIECHTI 1992, BRUDERER et al. 1995), so dass Abweichungen kaum einen Einfluss auf die Resultate ausüben. Für die Distanzbestimmung können die in Tab. 1 angegebenen Distanzen pro Größenklasse verwendet werden.

Literatur

- 1) BRUDERER, B., UNDERHILL, L. & LIECHTI, F. (1995) Altitude choice of night migrants in a desert area predicted by meteorological factors. *Ibis* 137: 44-55.
- 2) LIECHTI, F. (1992) Flugverhalten nächtlich ziehender Vögel in Abhängigkeit von Wind und Topographie. Dissertation, Universität Basel.
- 3) LIECHTI, F., PETER, D., LARDELLI, R. & BRUDERER, B. (1996) Herbstlicher Vogelzug im Alpenraum nach Mondbeobachtungen - Topographie und Wind beeinflussen den Zugverlauf. *Ornithol. Beobachter* 93: 131-152.
- 4) LOWERY, G.J. (1951) A quantitative study of the nocturnal migration of birds. *Univ. Kansas Publ., Mus. Nat. Hist.* 3: 361-471.
- 5) NISBET, I.C.T. (1959) Calculation of flight directions of birds observed crossing the face of the moon. *Wilson Bull.* 71: 237-243.

Table 1 – Größenklassierung von Vogelsilhouetten anhand des Mondkraters Tycho. Dargestellt ist die Größenklasse, die relative Größe der Silhouette zum Krater und die Entfernung des entsprechenden Vogels vom Beobachter in m (nach Liechti et al. 1996)

Größenklasse	Silhouettengröße im Vergleich zu Tycho	Distanz zum Beobachter [m]
1	punktförmig	
2	ca. ¼	1500
3	ca. ½	1250
4	ca. gleich	1000
5	ca. doppelt	700
6	ca. vierfach	500
7	über vierfach	300

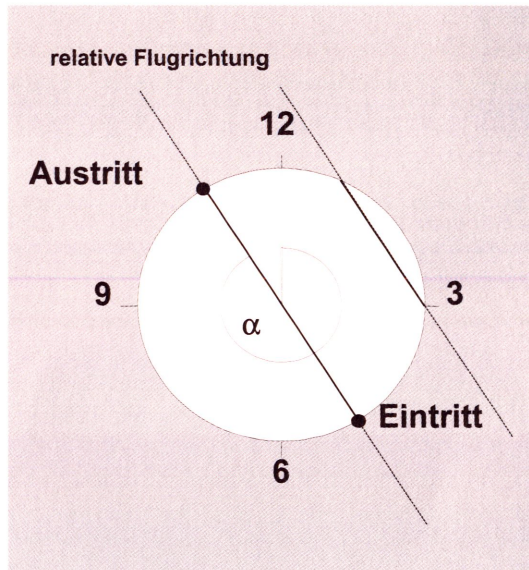


Abb. 1: Aufsicht auf den Vollmond und Bestimmung der relativen Flugrichtung

Die Angaben des Beobachters bezeichnen den Eintritts- und Austrittspunkt des vorbeifliegenden Vogels bezogen auf das imaginäre Zifferblatt einer Uhr (Flugwege, die nicht durchs Zentrum führen, werden entsprechend parallel verschoben). Die relative Flugrichtung bezeichnet den von 12 Uhr im Uhrzeigersinn gemessenen Winkel (z.B. Eintritt 3, Austritt 1 entspricht 5 nach 11, ergibt einen Winkel von 330°).

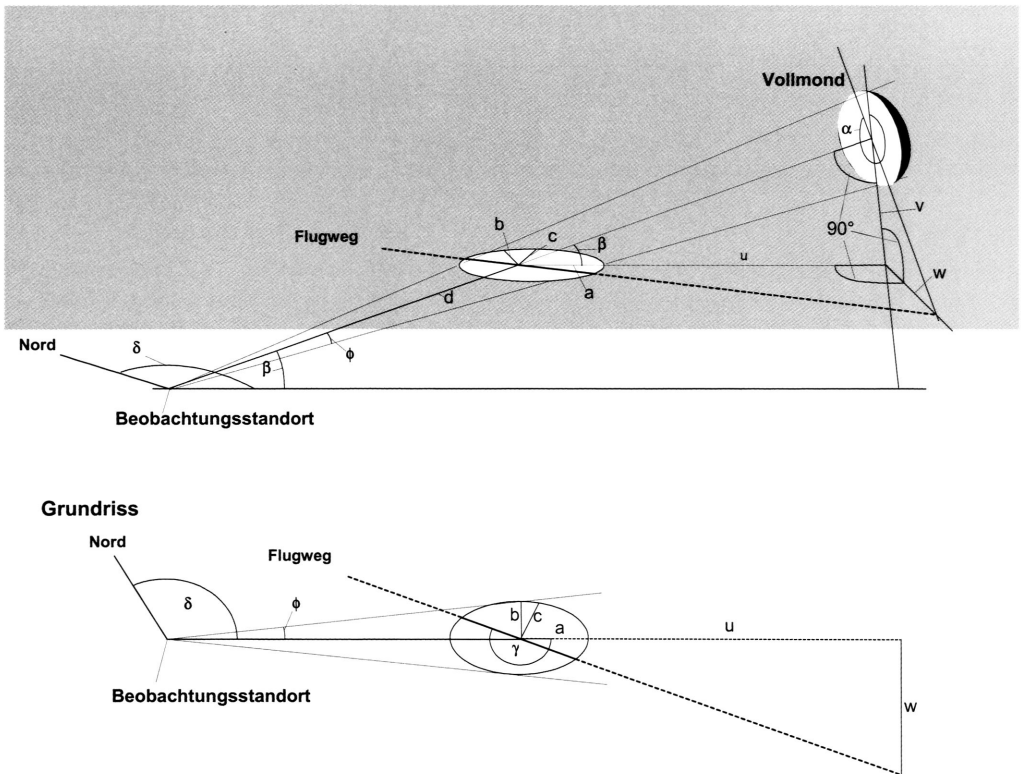


Abb. 2: Räumliche Ansicht und Grundriss des beobachteten Flugweges

Die weiße Ellipse im Zentrum bezeichnet den Schnitt des überwachten Raumes (ein Kegel) mit der Flugebene des Vogels (weitere Erläuterungen siehe Text).

Anschrift des Verfassers:

Felix Liechi
 Schweizerische Vogelwarte
 CH – 6204 Sempach