

Aus der Schweizerischen Vogelwarte Sempach

## Herbstlicher Vogelzug im Alpenraum nach Mondbeobachtungen – Topographie und Wind beeinflussen den Zugverlauf

Felix Liechti, Dieter Peter, Roberto Lardelli und Bruno Bruderer

**Autumn migration in the area of the Alps according to moonwatching. – Topography and wind affect the course of migration.** – For the first time nocturnal autumn migration was observed simultaneously north and south of the Alps. With an improved method for moonwatching more than 21 000 birds were counted at about 300 sites. Migration was funneled between the ranges of the Jura mountains and the Alps and was concentrated mainly along the northern border of the Alps. Above the Alps migratory intensity reached hardly 30 % of the density above the Swiss Lowlands, and directions were adapted to local topography. The effect of regional and local topography was increased by opposing winds. An average number of 2 million birds was estimated to cross Switzerland during a specific autumn night, while only a low percentage was crossing the main mountain ranges (10 to 20 %).

Key words: Migration, moonwatching, topography, wind.

Dr. Felix Liechti, Dieter Peter, Prof. Dr. Bruno Bruderer, Schweizerische Vogelwarte, CH–6204 Sempach; Roberto Lardelli, Via Campagnola 42/b, CH–6877 Coldrerio

Die Erforschung des nächtlichen Vogelzugs in der Schweiz begann mit der Einführung der Radarornithologie in den fünfziger Jahren (Sutter 1957). Verschiedene Studien mit Überwachungsradar lieferten Angaben über die generellen Richtungsverteilungen des Nachtzuges und zeigten einerseits grosse Variabilität in Abhängigkeit vom Wetter, andererseits eine gewisse Angleichung der Richtungen an den Verlauf des Alpenbogens (z.B. Steidinger 1968, Baumgartner & Bruderer 1985). Mit Zielfolgeradar wurde die Beeinflussung des Nachtzuges durch topographische Strukturen und Wind weiter analysiert (Bruderer 1978, 1981, 1982) und durch Beobachtungen im süddeutschen Raum ergänzt (Bruderer & Liechti 1990). Im Zentrum der Untersuchungen stand die Frage nach der Wirkung der Alpen als Zughindernis (Bruderer & Jenni 1980, 1990, Übersicht Bruderer 1996). Für eine vollständige Beurteilung fehlten aber bisher Angaben über den Ablauf des Nachtzuges südlich der Alpen. Ebenso lagen keine quantitativen Angaben über das Ausmass der Alpenüberquerung vor.

Ziel der hier präsentierten Untersuchung war es, den Verlauf und das Ausmass des nächtli-

chen Vogelzugs grossräumig, d. h. gleichzeitig nördlich und südlich der Alpen zu erfassen. Aufgrund der bisherigen Untersuchungen ist zu erwarten, dass der Nachtzug am Alpenrand und innerhalb der Alpen stark kanalisiert wird, wobei das Ausmass dieser Kanalisierung je nach Wettersituationen variieren kann (Rüsch & Bruderer 1981, Liechti & Bruderer 1986). Um die ortsabhängige Variation möglichst unabhängig von der Wettervariabilität untersuchen zu können, sind gleichzeitige Beobachtungen an zahlreichen Standorten im Bereich der Alpen notwendig. Überwachungsradaranlagen sind mit ihren Reichweiten von 15 bis 40 km für eine solche Aufgabe nicht geeignet, insbesondere weil damit die inneralpinen Täler nicht überwacht werden können; zudem sind die modernen Anlagen darauf ausgelegt, Vogeleschos zu eliminieren, und sie stehen aufgrund des intensiven Flugverkehrs kaum mehr zur Verfügung. Für die Realisierung eines solchen Projektes mit Zielfolgeradar müssten mindestens zehn Stationen parallel betrieben werden, was sowohl unsere Möglichkeiten als auch den in bezug auf die Fragestellung angemessenen Aufwand übersteigen würde.

Die Verbesserung der Methode der Mondbeobachtung und die erfolgreichen Verlässlichkeitsprüfungen mit Radar und Infrarot eröffneten neue Möglichkeiten für eine grossräumige Überwachung des Alpenraumes (Bruderer & Liechti 1994, Liechti et al. 1994). Als wesentliche Neuerung gegenüber früheren Arbeiten (Lowery 1951, Bolshakov 1985) konnte die Distanz zum beobachteten Vogel erstmals anhand einer empirisch geeichten Schätzmethode bestimmt werden (s. Methode). Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Anwendungsmöglichkeiten der verbesserten Methode zu prüfen. Sind Mondbeobachtungen dazu geeignet, den grossräumigen Ablauf des nächtlichen Vogelzuges zu erfassen? Welche Vor- und Nachteile hat eine einfache, aber grossräumige Überwachung, ausgeführt von zahlreichen Amateuren, gegenüber den punktuellen, technisch aufwendigen Untersuchungen von wenigen Profis?

Das Hauptziel der Arbeit war die simultane, grossräumige Überwachung des nächtlichen Vogelzuges im Alpenraum. Wie beeinflussen die Alpen die Flugrichtungen in einzelnen Beobachtungsnächten nördlich und südlich des Gebirges? Wie stark passen die Vögel ihre Flugrichtungen dem lokalen Verlauf der Täler an, und welche Bedeutung haben Passübergänge für Nachtzieher? Wie stark wird der Zug zwischen Jura und Alpen konzentriert?

## 1. Material und Methode

### 1.1. Mitarbeiter

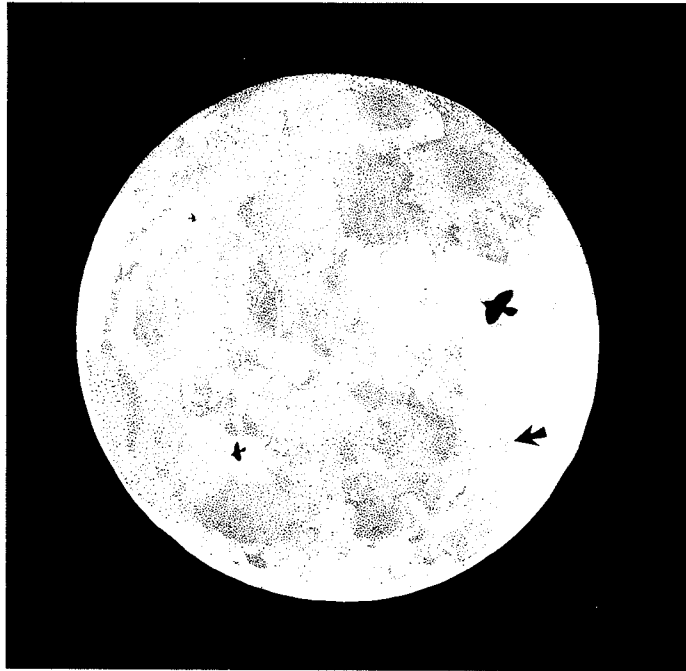
Mit folgendem Aufruf warben wir im Sommer 1994 für die Mitarbeit an unserem Mondprojekt: «... suchen wir im Anflugbereich der Alpen (Süddeutschland und Nordschweiz), im Alpenbereich (Schweiz, Österreich) und auf der Südseite der Alpen (Südschweiz, Norditalien) interessierte Personen, die bereit sind, im folgenden Herbst einige Abend- und Nachtstunden für die Beobachtungen des Vogelzuges zu opfern.» Das einzige Kriterium für die Teilnahme an diesem Projekt war die Verfügbarkeit eines Fernrohrs mit Stativ. Mehrheitlich meldeten sich Amateur-Ornithologen, aber auch Astronomen und andere an der Natur in-

teressierte Personen. An alle Interessenten wurde eine detaillierte Anleitung zur Beobachtungsmethode in der jeweiligen Landessprache verschickt. Neben der genauen Beobachtungszeit («heisse Phase» von 2 h pro Nacht) wurde insbesondere die Beobachtungsmethode mit Richtungsbestimmung und Grössenklassenbestimmung genau beschrieben (s. unten). Die Protokollierung der verschiedenen Angaben wie Standorteigenschaften, Fernrohrtyp sowie der eigentlichen Beobachtungen erfolgten auf vorgedruckten Formularen. Dringend empfohlen wurde eine Aufteilung der Beobachtungsdauer in Intervalle von 10 min mit entsprechenden Pausen, um eine vorzeitige Ermüdung der Augen zu vermeiden.

### 1.2. Grundlagen der Mondbeobachtung

Erste protokollierte Beobachtungen von nachts vor dem Vollmond vorbeiziehenden Vögeln stammen aus dem letzten Jahrhundert (z.B. Scott 1881 und Chapman 1888 in Lowery 1951). Resultate von systematischen Mondbeobachtungen, unter Beachtung der methodischen Besonderheiten, wurden erstmals von Lowery (1951) publiziert. Sie zeigten, dass die grossräumige Wetterlage über Nordamerika einen erheblichen Einfluss auf die Intensität und die Richtungen des Nachtzuges ausübte. Bei der Beobachtung des Vollmondes durch ein Fernrohr kann neben der Anzahl der Vögel deren Flugrichtung relativ zur Mondscheibe und die relative Grösse der Vogelsilhouetten bestimmt werden. Aufgrund der unbekanntenen Sichtbarkeitsgrenze galten Resultate von Mondbeobachtungen als ungenau und stark abhängig von der unbekanntenen Höhenverteilung der Vögel. Um dieses Manko zu beheben, versuchten russische Forscher durch die Abschätzung der Silhouettengrösse in Bezug zu einem Mondkrater die Distanz zwischen Betrachter und Vogel zu bestimmen (Bolshakov 1985). Da ihnen die Möglichkeiten für Vergleichsmessungen fehlten, berechneten sie die Distanz aufgrund der geschätzten Silhouettengrösse in Relation zur tatsächlichen Grösse des Vogels, wobei sie jeweils die Artzugehörigkeit des Vogels bestimmten. Für die berechneten Flughöhen von z.T. über 5 km müssten die Beob-

**Abb. 1.** Ansicht des Vollmondes mit 3 verschiedenen Grössen von Vogelsilhouetten (entsprechen den Grössenklassen 3, 4 und 5, s. Tab. 1). Die Grösse des Kraters «Tycho» (Pfeil) wurde als Referenz für die Grössenklassierung der Vögel verwendet. – *View of the full moon with 3 different sizes of bird silhouettes (according to sizeclasses 3, 4 and 5, s. Table 1). The size of the crater «Tycho» (arrow) was used as a reference for the classification of the silhouette size of the birds.*



achtungsdistanzen, entsprechend der Elevation des Mondes, deutlich über 7 km gelegen haben (Dolnik 1990). Wie anhand unserer Resultate anzunehmen ist, wurden die Beobachtungsdistanzen mit dieser Methode erheblich überschätzt (s. unten).

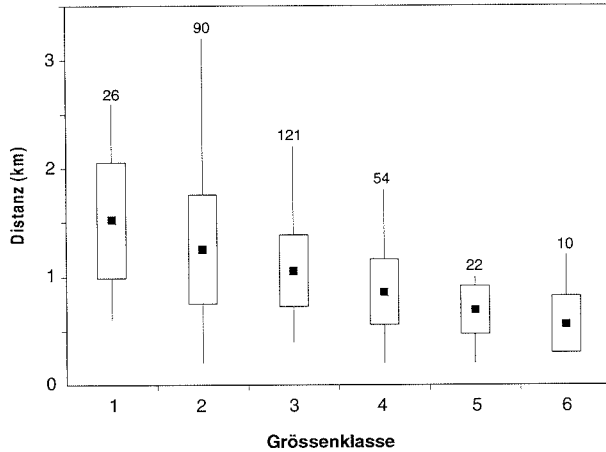
### 1.2.1. Sichtbarkeitsgrenze und Distanzschätzung

Für unsere Untersuchung verwendeten wir keine absoluten Grössen, sondern ermittelten empirisch den Zusammenhang zwischen Silhouettengrösse und Entfernung. Als Referenzkrater bestimmten wir «Tycho», da er mit Leichtigkeit auch von unerfahrenen Beobachtern lokalisiert werden kann (Abb. 1). Aus parallel zu den Mondbeobachtungen durchgeführten Distanzmessungen mit Zielfolgeradar, bestimmten wir den Zusammenhang zwischen Silhouettengrösse und Entfernung (Abb. 2). Aufgrund der ermittelten Beziehung zwischen Grössenklasse und Distanz, legten wir im Hinblick auf die Auswertungen für jede Grössen-

klasse eine mittlere Distanz fest (Tab. 1). Die maximale Distanz eines vom Mondbeobachter registrierten Vogels betrug 3,2 km für Messungen in der Schweiz und 3,5 km für vorangegangene Beobachtungen in den Wüsten Israels.

**Tab. 1.** Verwendete Grössenklassierung der Vogelsilhouetten im Verhältnis zum Mondkrater «Tycho» und die für die Berechnungen benutzten Distanzen pro Grössenklasse. – *Size classes («Grössenklasse») used for the estimation of the silhouette size of the birds in relation to the size of the crater «Tycho», and corresponding mean distances according to measurements by tracking radar («Distanz») used for the calculation of migratory intensity.*

Grössenklasse	Grösse bezüglich Mondkrater	Distanz (m)
1	punktförmig	1500
2	ca. 1/4	1250
3	ca. 1/2	1000
4	ca. gleich	800
5	doppelt	700
6	vierfach	500
7	über vierfach	300

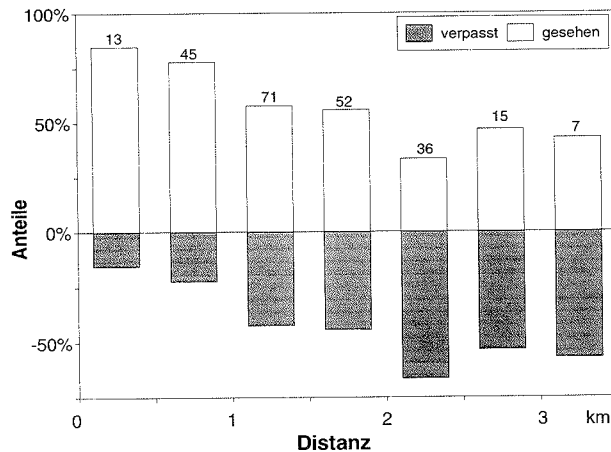


**Abb. 2.** Schätzung der Silhouettengrösse vor dem Vollmond in Beziehung zur mit Radar gemessenen Distanz. Angegeben sind Mittelwerte (schwarze Punkte), Standardabweichung (Rechteck), Bereich (senkrechte Linie) und Stichprobengrösse. Die Angaben beruhen auf den Einzelergebnissen von vier erfahrenen Beobachtern (vgl. Tab. 1). – *Estimation of the silhouette size of birds passing the disk of the full moon in relation to the distance of the bird from the observer measured by a radar. The silhouette size is estimated according to the size of the crater «Tycho» (see Table 1). Results are based on the observations of 4 experienced moonwatchers. Means (black dot), standard deviation (rectangle), range (vertical line) and sample size are shown.*

Wie die Radaraufzeichnungen belegten, überflogen Vögel auch in grösserer Distanz den Beobachtungsstandort, wurden aber vom Beobachter nicht bemerkt. Bei parallelen Beobachtung des Vollmondes mit Infrarot- und Fernrohr zeigte sich, dass mit zunehmender Distanz zahlreiche Vögel unbemerkt vom Beobachter die Mondscheibe durchquerten (Abb. 3). Dabei wurden im Nahbereich u.a. Vögel am Rand der Mondscheibe verpasst, während mit zunehmender Distanz auch Vögel, die das Zentrum durchquerten, nicht gesehen wurden (Liechti et al. 1995).

Überdies wurde der Einfluss der Fernrohr-

vergrößerung auf die Anzahl beobachteter Vögel analysiert. Im untersuchten Bereich von 20- bis 30facher Vergrößerung waren keine Unterschiede ersichtlich. Nach persönlichen Beobachtungen steigt bei stärkerer Vergrößerung die Gefahr, Vögel zu verpassen, die nur den Randbereich des Mondes passieren, da die Mondscheibe nicht mehr mit einem Blick erfasst werden kann. Bei schwächeren Vergrößerungen dürfte die Sichtbarkeitsgrenze reduziert werden. Allerdings konnten am vorliegenden Material keine offensichtlichen Unterschiede in Bezug auf die benutzten Fernrohre festgestellt werden. Auch Beobachtungen aus



**Abb. 3.** Ergebnis von parallelen Beobachtungen des Vollmondes mit Infrarot (LORIS, IRTV-445L von Inframetrics) und Fernrohr (40fach). Alle Vögel wurden auf dem Infrarot registriert (= 100 %), während mit zunehmender Entfernung Vögel am Fernrohr verpasst wurden (Stichprobengrösse oberhalb der Säulen). Die Distanzmessung erfolgte mit dem ebenfalls parallel ausgerichteten Zielfolgeradar. – *Results from parallel observations of the full moon by infrared and telescope (40x). All birds were recorded by Infrared (100 %), while with increasing distance an increasing number of birds was missed through the telescope («verpasst»).* The distance was measured by a parallel operating tracking radar. Sample size indicated above the bars.

der vorliegenden Studie mit 15facher Vergrößerung lieferten vergleichbare Zugintensitäten, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass der Zug zumeist unterhalb 1000 m über Grund (ü.G.) verlief. Die von uns empfohlene 30fache Vergrößerung wurde von zwei Dritteln aller Beobachter verwendet.

Der Nachtzug über Mitteleuropa setzt sich zu 80 % aus kleinen Singvögeln zusammen (Bloch et al. 1981, Bruderer & Liechti 1990). Fehler in der Distanzbestimmung aufgrund der unterschiedlichen Grösse der am Zug beteiligten Arten dürften daher kleiner sein als die Unterschiede, die durch individuelle Klassierungsunterschiede zwischen den Beobachtern zustande kommen.

### 1.2.2. Einfluss des einzelnen Beobachters

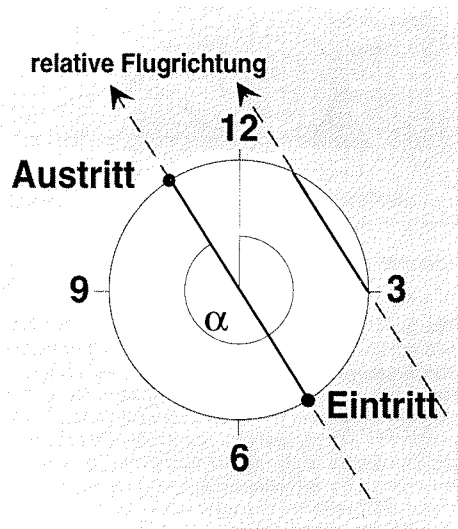
Unterschiede zwischen verschiedenen Beobachtern sind ausser vom allgemeinen Sehvermögen abhängig von der Erfahrung. Bei parallelen Beobachtungen von 6 Personen an einem Standort (innerhalb von 10 m; jeweils 3 Personen beobachteten gleichzeitig) wurden im Verlaufe von 18 Beobachtungsintervallen à 10 min insgesamt 626 Vögel gezählt. Von den 4 erfahrenen Beobachtern wurden im Durchschnitt 86–96 % aller beobachteten Vögel gesehen, während 80 bzw. 81 % von den beiden erstmals beobachtenden Personen ausgemacht wurden. (Für jedes Beobachtungsintervall wurde die von irgendeinem Beobachter festgestellte maximale Anzahl Vögel bestimmt. Die Summe dieser Maximalwerte aus allen vom betreffenden Beobachter überwachten Zeitintervallen ergab 100 %).

Die Richtungsverteilungen variierten nur unbedeutend, während sich in der Grössenklassierung individuelle Unterschiede ergaben. Diese Unterschiede in der Grössenschätzung waren allerdings sehr selten grösser als eine Klasse. Der daraus entstehende Distanzunterschied beträgt etwa 200 m, was für die Berechnung der Zugintensität einen Differenz von ca. 10–20 % ausmachen kann. Anfänger tendieren zu tieferen Grössenschätzungen als erfahrene Beobachter. Daraus resultiert eine Unterschätzung der Zugintensität. Insgesamt muss für die einzelnen Beobachter mit einem Schätzfehler

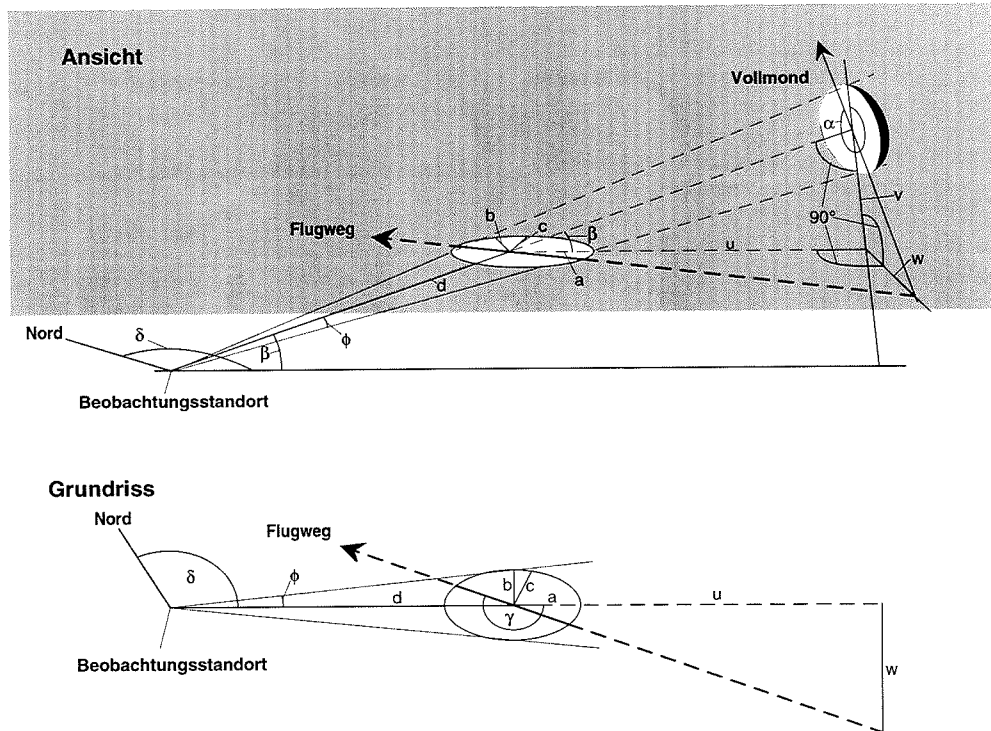
der Zugintensität um 30 % gerechnet werden, wobei sie in den allermeisten Fällen unterschätzt werden dürfte. Eine gegenseitige Kontrolle der Beobachter ist daher notwendig.

### 1.3. Berechnung der effektiven Flugrichtung

Die Flugrichtung eines Vogels bestimmt der Mondbeobachter durch die Bezeichnung des Ein- und Austrittspunktes (Abb. 4). Diese relative Flugrichtung wird – bezogen auf 12 Uhr – in einen Winkel ( $\alpha$ ) umgewandelt. Zur Bestimmung der effektiven Flugrichtung werden die Elevation ( $\beta$ ) und das Azimut ( $\delta$  = Himmels-



**Abb. 4.** Aufsicht auf den Vollmond und Bestimmung der relativen Flugrichtung. Die Angaben des Beobachters bezeichnen den Eintritts- und Austrittspunktes des vorbeifliegenden Vogels bezogen auf das imaginäre Zifferblatt einer Uhr (Flugwege die nicht durchs Zentrum führen werden entsprechend parallel verschoben). Die relative Flugrichtung (a) bezeichnet den von 12 Uhr im Uhrzeigersinn gemessenen Winkel (z.B. Eintritt 3, Austritt 1, entspricht 5 nach 11, ergibt einen Winkel von 330°). – *View of the moon through the telescope and determination of the relative flight direction. The moonwatcher records the points of entrance and exit of the bird passing in front of the moon, in relation to an imaginary clock-face (Lowery 1951). The relative flight direction (a) is given as the angle between 12 o'clock and the flight path, measured clockwise (e.g. 5 in, 11 out, results in 330°).*



**Abb. 5.** 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). – *Three dimensional view and ground plan of a flight path observed by a moonwatcher. The white ellipse in the centre marks section of the cone of view with the bird's flight plane. Flight direction ( $R_g$ ) was calculated with respect to the relative direction ( $\alpha$ ), the elevation ( $\beta$ ) and compass direction ( $\delta$ ) of the moon – see formula (1), (2), (3) and (4). The probability that a bird crosses the face of the moon is related to its flight direction. The length of the ellipse axis perpendicular to the flight direction (2c) was used as an approximation for the range under surveillance at a certain distance – (5). Each bird count (i) was weighted according to this axis (c) and MTR (migration traffic rate) was calculated as the sum of this weighted counts over a certain time interval – (6). ( $\gamma$  = flight direction in relation to the azimuth of the moon,  $\phi$  = half of the opening angle of the cone surveilled by moonwatching, a = long half axis of the ellipse, b = short half axis of the ellipse).*

richtung) des Mondes berücksichtigt (Abb. 5). Unter der Annahme, dass der Vogel auf konstanter Höhe fliegt, lässt sich die Flugrichtung ( $\gamma$ ) bezüglich des Mondazimuts wie folgt bestimmen:

Gemäss Abb. 5 ist

$$\frac{w}{v} = \pm \tan(\alpha) ; \quad \frac{v}{u} = \sin(\phi) ; \quad \frac{w}{u} = \mp \tan(\gamma) \quad (1)$$

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

$$\tan(\gamma) = -\tan(\alpha) \cdot \sin(\beta) \quad (2)$$

Unter Berücksichtigung der Periodizität des Tangens ergibt sich für die Flugrichtung bezüglich des Mondazimuts,

für  $\alpha < 90^\circ$  oder  $\alpha > 270^\circ$

$$\gamma = 180^\circ - \arctan[\tan(\alpha) \cdot \sin(\beta)]$$

für  $90^\circ < \alpha < 270^\circ$

$$\gamma = -\text{arc tan}[\tan(\alpha) \cdot \sin(\beta)]$$

für  $\alpha = 90^\circ$  (bzw.  $270^\circ$ ) gilt  $\alpha = \gamma$ . (3)

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

$$R_G = \gamma + \delta \quad (4)$$

#### 1.4. Berechnung der Zugintensität

Als Mass für die Zugintensität wird allgemein die «Migration Traffic Rate» (MTR) verwendet (Lowery 1951). Sie bezeichnet die Anzahl 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. 5). 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  $\gamma$  verlaufenden Ellipsendurchmesser ( $2c$ ). Der halbe Durchmesser  $c$  berechnet sich anhand der Ellipsenhalbachsen  $a$  und  $b$  und der Distanz  $d$  wie folgt:

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

$$c = \frac{a \cdot b}{\sin(\gamma) \cdot \sqrt{b^2 + a^2 \cdot \tan^2(\gamma - 90^\circ)}}. \quad (5)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel in einer bestimmten Richtung 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 ( $\Delta t$ ) aus der gewichteten Summe aller in diesem Zeitraum beobachteter Vögel ( $n$ ):

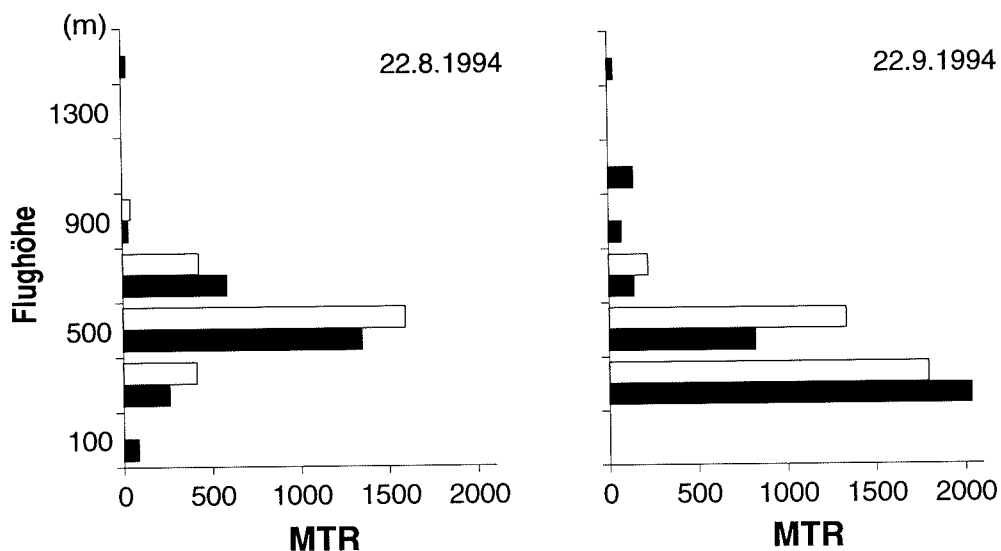
$$MTR = \frac{60}{\Delta t} \cdot \sum_{i=0}^n \frac{1}{2 \cdot c_i} \quad (6)$$

( $\Delta t$  in Minuten)

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  $15^\circ$  sind daher sehr vorsichtig zu interpretieren, da bereits kleine Fehler in der Richtungsbestimmung erhebliche Unterschiede hervorbringen können (Nisbet 1959). In der vorliegenden Studie wurden keine Beobachtungen unter solchen Bedingungen berücksichtigt. 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), und Abweichungen üben kaum einen Einfluss auf die Resultate aus. Für die Distanzbestimmung wurden die in Tab. 1 angegebenen Distanzen pro Grössenklasse verwendet.

#### 1.5. Vergleichsmessungen

Detaillierte Höhenverteilungen lassen sich anhand der Grössenklassierung nicht ermitteln, doch zeigt ein Vergleich zwischen Radarmessungen und Mondbeobachtungen eine grundsätzliche Übereinstimmung der Höhenverteilungen (Abb. 6). Eine gewisse Unterschätzung des untersten Höhenbereichs  $< 200$  m muss allerdings in Kauf genommen werden, da einerseits das überwachte Volumen sehr klein ist und andererseits durch die Mittelwertbildung die Distanz für die Klasse der grössten Silhouetten  $300$  m beträgt (entspricht bei einer Elevation des Mondes von  $30^\circ$   $150$  m ü.G.). Je nach Elevation des Mondes sind zuverlässige Aus-



**Abb. 6.** Höhenverteilung der beobachteten Vögel anhand der Grössenschätzungen vor dem Mond (weisse Balken) und der mit Radar gemessenen Distanzen (schwarze Balken; 22. 8. 1994 n = 74; 22. 9. 1994 n = 33). – Height distribution of the observed birds according to size estimations from moonwatchers (white bars) and radar measurements, respectively (black bars; 22. 8. 1994 n = 74; 22. 9. 1994 n = 33).

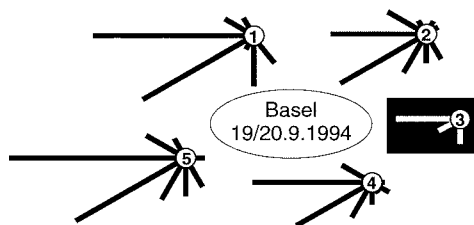
sagen anhand von Mondbeobachtungen bis auf Flughöhen von 1000 bis 1500 m ü.G. beschränkt (Liechti et al. 1994).

Insgesamt zeigten die parallelen Vergleichsmessungen, dass die Methode der Mondbeobachtungen für einen Höhenbereich bis 1500 m ü.G. durchaus brauchbare Resultate liefern. Nachteile der Methode bestehen in der relativ kurzen Verfügbarkeit des Vollmondes aufgrund der Mondphase und der in unseren Breiten recht häufig auftretenden Bewölkung. Die Stärke der Mondbeobachtungsmethode liegt in der Möglichkeit, mit einfachen Mitteln ausgedehnte Gebiete gleichzeitig zu überwachen.

#### 1.6. Datenmaterial

Über 600 Personen aus Italien, Deutschland, Frankreich, Österreich und der Schweiz folgten einem Aufruf der Schweizerischen Vogelwarte zur Projektmitarbeit. Der Schwerpunkt der Beobachtungsstandorte lag im schweizerischen Mittelland und in Raum Oberitalien/Tessin. Die Beobachtungsperiode erstreckte sich vom

17. bis 22. September von 23.00 bis 01.00 Uhr (Sommerzeit) und vom 16. bis 21. Oktober 1994 von 22.00 und 24.00 (Normalzeit). Insgesamt



**Abb. 7.** Beispiel für die Verarbeitung von Mondbeobachtungsergebnissen. Alle Beobachtungen stammen von der Stadt Basel aus demselben Zeitraum. Dargestellt sind Richtungsverteilungen entsprechend der Zugintensität. Standort 3 wurde von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen, während die Resultate der übrigen vier Standorte gemittelt wurden. – Results from neighbouring sites were compared and summarized if differences were small or explained by local topography. An example from Basel shows flight distributions with respect to migratory intensity (observations from one night and equal time interval). Site 3 was excluded from further analysis, while the others were pooled.

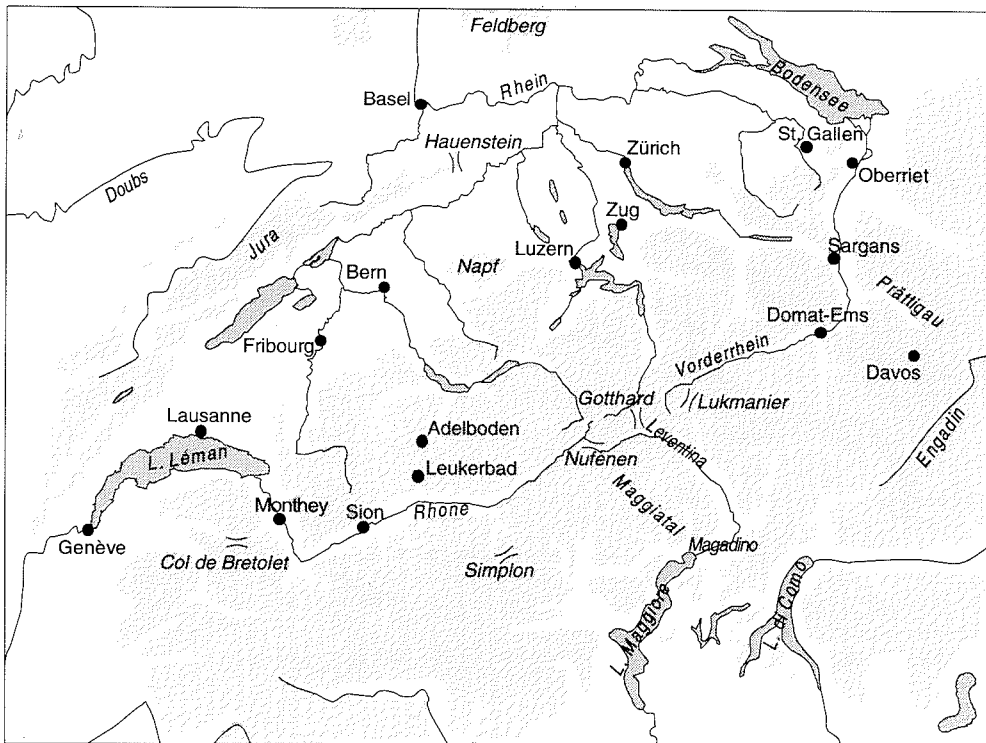


samt wurden an über 300 Standorten total 21 085 Vögel gezählt. Um den Einfluss der zu- bzw. abnehmenden beleuchteten Fläche des Mondes einzugrenzen, beschränkten sich die Beobachtungen auf 6 Nächte um die Vollmondphase. Auf eine Berücksichtigung der Flächenveränderung im Verlauf dieser 6 Nächte wurde verzichtet.

### 1.7. Auswertung

Beobachtungsergebnisse, die erheblich von benachbarten Beobachtungen abweichen und nicht aufgrund lokaler topographischer Unterschiede erklärt werden konnten, wurden ausgeschlossen. Die Erheblichkeit der Abweichung wurde einerseits durch das Ausmass, aber auch durch die Variation in den umliegenden Beobach-

tungsorten bestimmt, so dass sich keine allgemeingültigen Regeln aufstellen liessen. Ein eindeutiges Beispiel zeigt Abb. 7. In der Nacht vom 19./20. September wurde an 5 Standorten im Raum Basel-Stadt beobachtet. Am Standort 3 wurden massiv weniger Vögel beobachtet, wobei sich die Ergebnisse weder durch zeitliche noch topographische Unterschiede erklären lassen. Sie wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Da viele Beobachter in Zweier-Teams arbeiteten, wurde auch der Vergleich der beiden, alternierend arbeitenden Beobachter als Qualitätsmerkmal herangezogen. Stark abweichende Resultate wurden unter Beachtung der effektiven Beobachtungszeit nicht berücksichtigt. Von den total 817 Beobachtungsnächten mussten 117 (14 %) für die weitere Bearbeitung ausgeschlossen werden,



**Abb. 8.** Berücksichtigtes Untersuchungsgebiet mit den im Text verwendeten Ortsbezeichnungen. Die Karte zeigt die wichtigsten Fließgewässer und Seen. Die grauen Fläche bezeichnen Gebiete oberhalb 1000 m ü.M. – *Observation area with the geographic names used in the text. The main rivers and lakes are indicated on the map. The shaded area represents elevations >1000 m above sea level (a. s. l.).*

da entweder die minimale Beobachtungsdauer von 30 min unterschritten wurde oder erhebliche Abweichungen festgestellt wurden. Davon betroffen waren allerdings nur 7 % der beobachteten Vögel. Aufgrund der erwähnten Fehlerquellen handelt es sich bei den in dieser Arbeit aufgeführten Zugintensitäten um Mindestwerte.

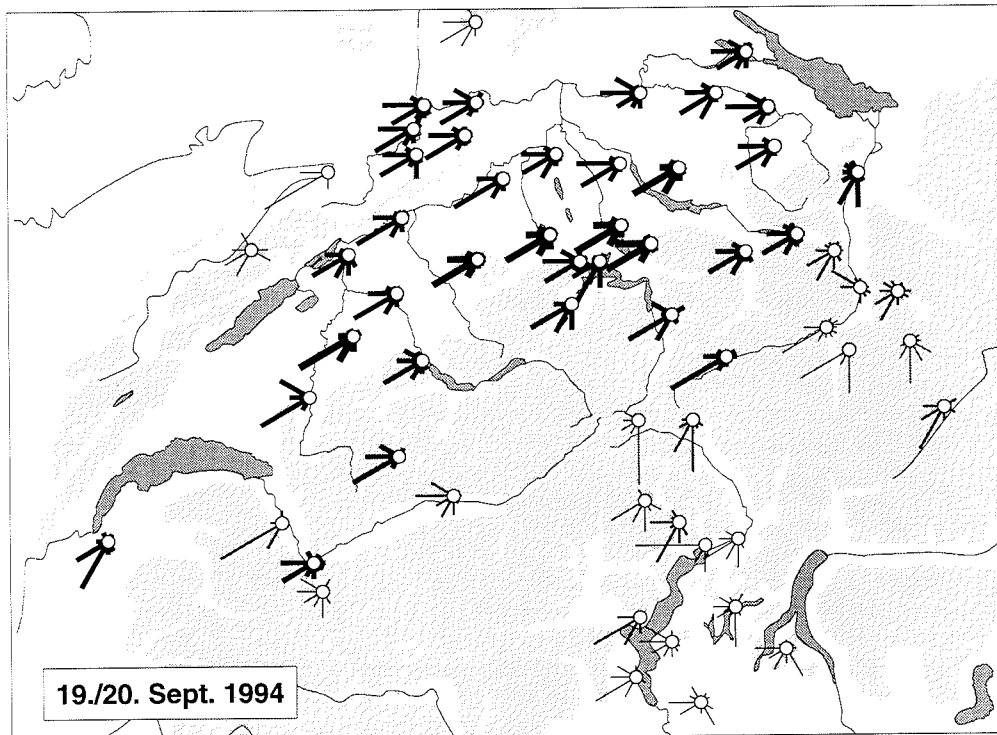
Diese Arbeit konzentriert sich auf die Analyse des lokalen und regionalen Zugablaufs im schweizerischen Raum. Abb. 8 zeigt eine Karte des berücksichtigten Untersuchungsgebietes mit den im Text verwendeten Ortsbezeichnungen. Eine Übersicht über die Resultate aus dem gesamten Untersuchungsgebiet unter Einschluss des Frühlingzuges erfolgt an anderer Stelle (Liechti et al. 1996).

## 2. Ergebnisse

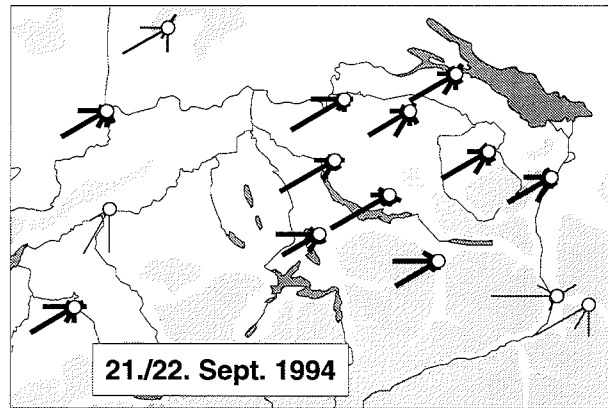
### 2.1. Verlauf des Nachtzuges im September

#### 19./20. September

Vom 16. bis 18. September 1994 hatte sich auf der Alpennordseite nach dem Durchzug einer Wetterstörung eine Staulage eingestellt, verbunden mit leichten Niederschlägen. Am Abend des 19. Septembers lockerte sich die Bewölkung auf, womit erstmals gleichzeitige Beobachtungen im gesamten Untersuchungsgebiet möglich wurden. Auf der Alpennordseite hatte der Wind unterhalb 1500 m über Meer (ü.M.) von SW auf NE gedreht, während darüber weiterhin ein mässiger SW-Wind wehte. Südlich der Alpen bestimmten schwache, va-



**Abb. 9.** Prozentuale Verteilungen der Flugrichtungen pro Standort im Untersuchungsgebiet in der Nacht vom 19./20. September 1994. Die Zugintensität pro Standort wurde in 4 Klassen unterteilt: dünne Linien (MTR < 1000), mässig (1000 bis 2000), fett (2000 bis 5000), sehr fett (> 5000). – *Proportional distributions of flight directions for each site in the night of 19/20 September 1994. Migratory intensity is divided into 4 classes: thin line (MTR < 1000), normal (MTR 1000 to 2000), bold (2000 to 5000), very bold (> 5000). North of the Alps winds are from NE up to 1500 m a.s.l., but shift to SW higher up.*



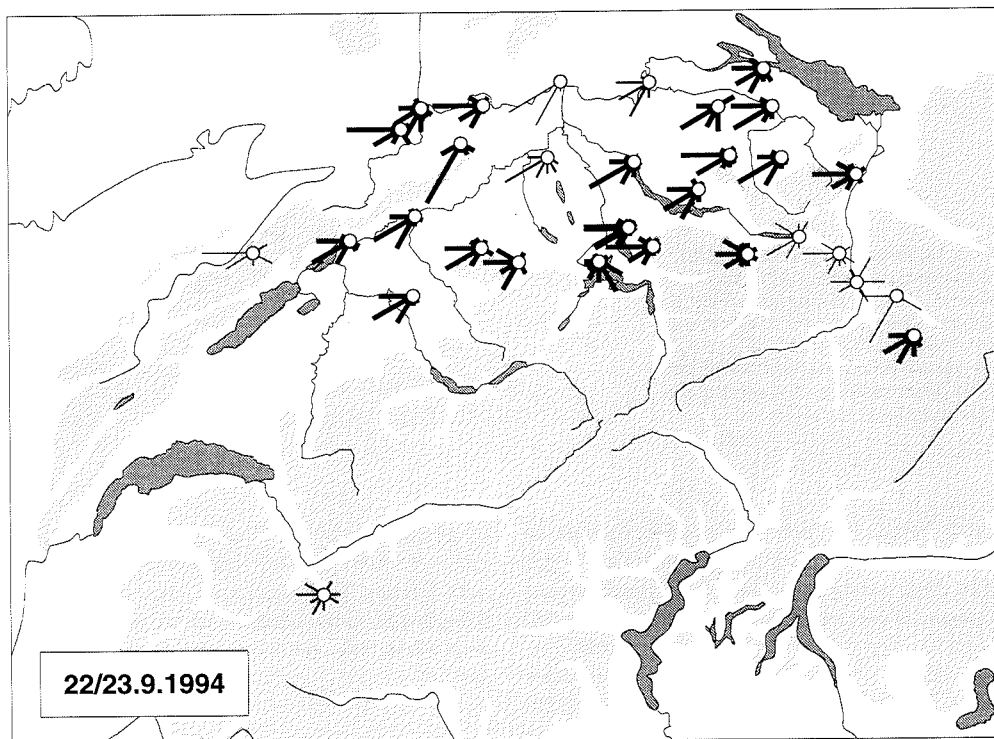
**Abb. 10.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen auf der Alpennordseite vom 21./22. September 1994. Regen auf der Alpensüdseite. – *Proportional distributions of flight directions north of the Alps in the night of 21/22 September 1994. Weak easterly wind north of the Alps and rain in the south.*

riable Winde um West die Wettersituation. In dieser Nacht flog die Hauptmasse des Zuges über dem schweizerischen Mittelland, wobei alpenparallele Flugrichtungen dominierten (Abb. 9). Mit einer MTR von über 5000 wurden entlang der nördlichen Voralpen, auf einer Linie Zürcher Oberland–Zug–Luzern–Napfgebiet–Fribourg die grössten Zugintensitäten gemessen. Schätzungsweise dürften in dieser Nacht 2 bis 3 Millionen Zugvögel den Luftraum zwischen Basel und Luzern durchquert haben. Eine entsprechende Konzentration entlang des Juranordrandes konnte nicht beobachtet werden. Die geringe Zugdichte am Standort beim Feldberg (1000 m ü.M.) bestätigt, dass sich der Zug hauptsächlich in tieferen Luftschichten abspielte. Die Hauptzugrichtung in der Nordostschweiz (Raum Bodensee–Zürichsee) lag mehrheitlich im WSW, drehte im Raum Basel leicht und im zentralen Mittelland deutlich nach SW und lag schliesslich bei Genf um SSW. Im Alpenraum nördlich des Gottards dominierten bei mässigem bis starkem Zug ebenfalls Richtungen um SW. Im Bündnerland und Wallis macht sich ein starker Einfluss der lokalen Topographie bemerkbar. Der Zug folgte den süd- bzw. südwestwärts verlaufenden Tälern (St. Galler Rheintal, Vorderrhein, Engadin, Rhonetal, Val d’Illiez Richtung Col de Bretolet) und Gebirgsübergängen (Lukmanier, St. Gotthard). Der schwache Zug in den südlichen Alpentälern war geprägt durch

erheblich streuende Richtungen, zeigte aber zumeist eine gewisse Übereinstimmung mit dem lokalen Talverlauf (z.B. Magadinoebene, Maggiatal). Gegen Süden nahm der Anteil an westwärts bzw. südwestwärts fliegenden Vögeln zu.

#### 21./22. September

Nach dem Durchgang einer weiteren Regenfront waren in der Nacht vom 20./21. September praktisch im gesamten Untersuchungsgebiet keine Beobachtungen möglich. Nur an einem einzelnen Standort in der Westschweiz konnte knapp 20 min lang sehr schwacher Zug registriert werden. Mit einer Drehung der Winde am folgenden Tag von SW auf E lockerte sich auch die Bewölkung nördlich der Alpen auf, so dass in der Nacht vom 21./22. September vor allem in der Nordostschweiz Beobachtungen durchgeführt werden konnten (Abb. 10). Leichter Regen im Engadin und Tessin verhindert Beobachtungen südlich der Alpen. Die Mittellandstationen, an denen Beobachtungen möglich waren, zeigten fast durchwegs hohe Durchzugsraten (bis gegen 4000 Vögel pro km und Stunde). Einheitliche Flugrichtungen um SW dominierten. Die geringe Zugintensitäten an den wenigen Standorten in den Alpentälern deuten an, dass der Alpenraum in dieser Nacht wohl von den meisten Zugvögeln gemieden wurde.



**Abb. 11.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen vom 22./23. September 1994. Regen auf der Alpensüdseite. – *Proportional distributions of flight directions in the night of 22/23 September 1994. Weak winds with some local fog north of the Alps, rain in the south.*

### 22./23. September

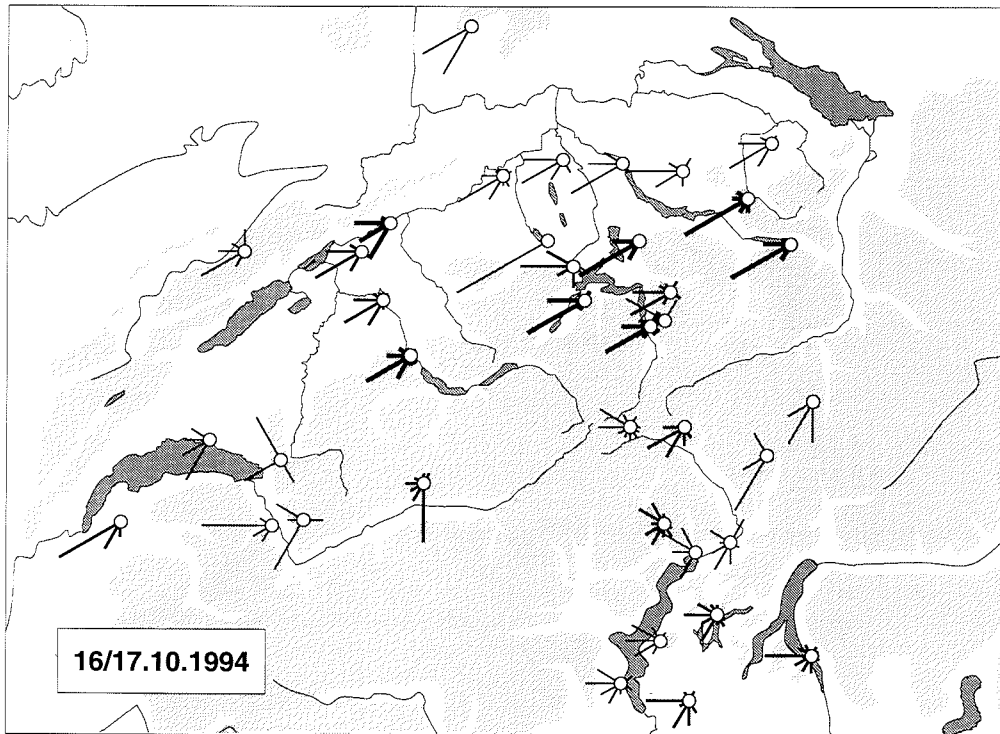
Auch in der Nacht vom 22./23. September verhinderte der Regen Beobachtungen auf der Alpensüdseite. Im Mittelland und entlang des nördlichen Alpenrandes waren leicht schwächere Zugintensitäten als in der Nacht davor zu beobachten (Abb. 11). Die Richtungen streuten etwas stärker, was möglicherweise mit der Reaktion auf lokal vorhandene tiefhängende Wolken oder Nebelfelder zu erklären ist (z.B. bei Luzern). So meldeten die Wetterstation vom Pilatus und Säntis am Morgen des 23. Septembers ein Nebelmeer auf 800 m ü.M. Während im Raum Sargans und unteren Prättigau nur schwacher, meist ungerichteter Zug zu beobachten war, konnte am relativ hochgelegenen Standort bei Davos (1500 m ü.M.) beachtlicher SW-Zug festgestellt werden. Dies deutet dar-

auf hin, dass zumindest in diesem Bereich hoher alpenquerender Zug auftrat. Eine sehr kleinräumige Anpassungen der Flugrichtungen an lokale Landschaftsstrukturen konnte im Raum Basel festgestellt werden. Östlich und südwestlich von Basel verlief die Hauptzugrichtung westwärts entlang des Rheins bzw. parallel zum Höhenzug des Blauen. In Basel lagen die Richtungen erheblich südlicher, und im Gebiet nördlich des Hauensteins konzentrierten sie sich auf den in SSW-Richtung gelegenen Passübergang.

### 2.2. Verlauf des Nachtzuges im Oktober

#### 15./16. und 16./17. Oktober

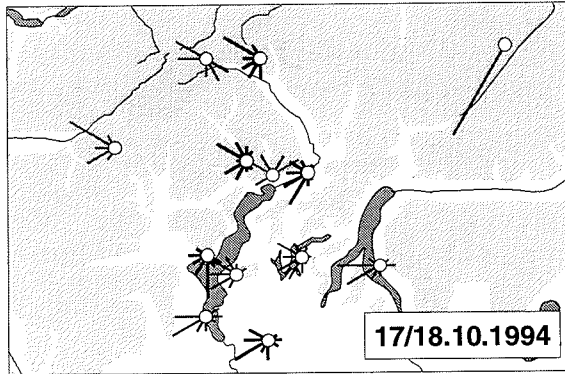
Im Oktober gingen der Beobachtungsperiode einige klare Nächte mit z.T. günstigen Ostwin-



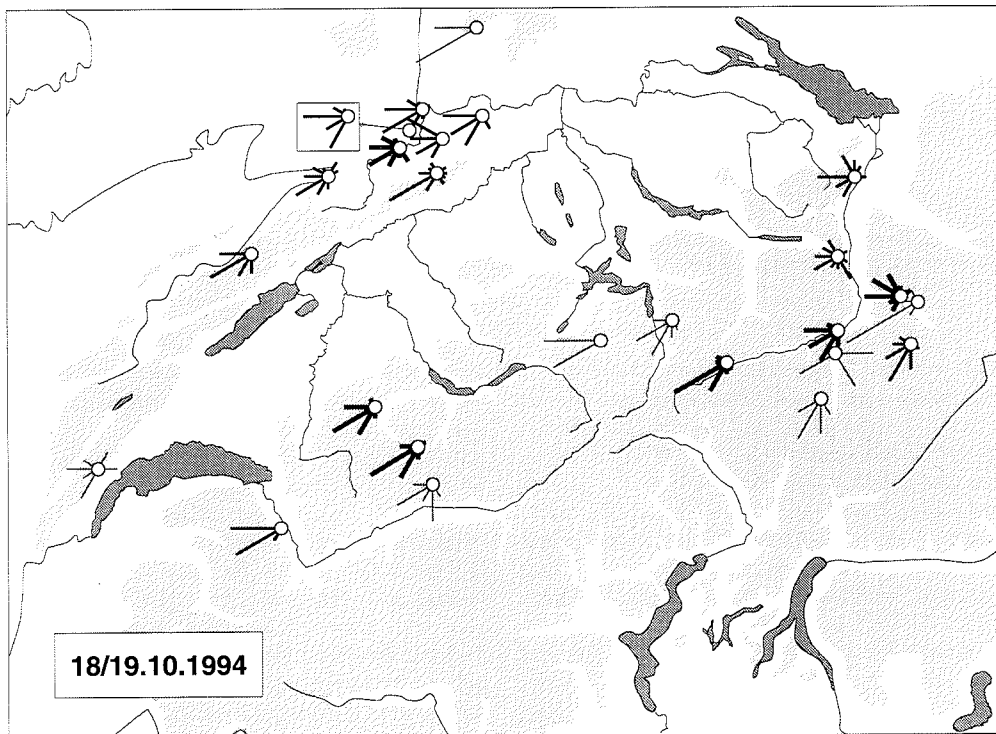
**Abb. 12.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen vom 16./17. Oktober 1994. – *Proportional distributions of flight directions in the night of 16/17 October 1994. Moderate NE-winds north of the Alps, variable and weak winds in the south.*

den voraus. Vereinzelt Beobachtungen aus der Nacht vom 15./16. Oktober zeigten für das schweizerische Mittelland und entlang des Alpennordrandes mässigen, um SW konzentrierten Zug (MTR = 2000 bis 3000). In der darauffolgenden Nacht (16./17. 10.) waren Beobachtungen im gesamten Untersuchungsgebiet möglich, wobei bis in grosse Höhen (>5 km) mässige nordöstliche Winde wehten (Maximum 40 km/h auf 2000 m ü.M.). Auf der Alpennordseite konzentrierte sich der Zug bei südwestlichen Flugrichtungen entlang des Alpenrandes (Abb. 12). Im Bereich der Hochalpen konnte zumeist nur schwacher Zug mit lokal stark variierenden Richtungen festgestellt werden. Im südwärts verlaufenden Tal bei Leukerbad zeigte sich eine deutliche Konzentration südwärts ziehender Vögel. Die im Unterwallis bei Monthey beobachteten Vögel zogen

westwärts ins Val d'Illeiez, während jene, die von der Flanke der Dents de Morcles aus beobachtet wurden, entweder Richtung NW dem unteren Rhonetal oder Richtung SSW auf die Südflanke der Dents du Midi zuflogen. Interessant ist der Unterschied zwischen den beiden benachbarten Alpenpässen Lukmanier und Gotthard. Die Vögel, die dem Vorderrheintal entlang geflogen waren, gelangten via Lukmanier mit südwestlichen Richtungen auf die Südseite des Hauptalpenkammes, während Vögel aus der Leventina mit nordwestlichen Richtungen via Gotthardpass auf die Alpennordseite gelangten. Südlich der Alpen dominierten westliche und südwestliche Richtungen, wobei auch hier – analog zum Gotthard – topographisch beeinflusster Nordwestzug vorkam.



**Abb. 13.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen auf der Alpensüdseite vom 17./18. Oktober 1994. Hochnebel über der Alpennordseite. – *Proportional distributions of flight directions in the night of 17/18 October 1994. Fog up to 2000 m a.s.l north of the Alps, variable and weak winds in the south.*



**Abb. 14.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen vom 18./19. Oktober 1994. Nebeldecke auf ca. 1000 m ü.M. . Die Richtungsverteilung im weissen Rechteck (bei Basel) bezieht sich auf den mit einem kleinen Kreis markierten Standort südlich von Basel. – *Proportional distributions of flight directions in the night of 18/19 October 1994. Fog up to 1000 m a.s.l north of the Alps, variable and weak winds, cloud cover in the south. The flight distribution within the white rectangle (near Basel) belongs to the site south of Basel, marked with a small circle.*

*17./18. und 18./19. Oktober*

In der folgenden Nacht vom 17./18. 10. verhinderte eine Nebeldecke mit Obergrenze um 2000 m ü.M. Beobachtungen auf der Alpennordseite, während im Süden ähnlicher Zug wie in der Nacht zuvor verzeichnet wurde (Abb. 13). Bei sehr schwachen variablen Winden (<10 km/h) waren im Raum Lukmanier, Gotthard, Simplon und im Maggiatal ausgeprägte nordwestliche Flugrichtungen zu beobachten. Im Bereich der drei Seen Lago Maggiore, L. di Lugano und L. di Como zeigten sich stark streuende Richtungen von NW bis SW, mit einer mittleren Tendenz um WSW.

In der Nacht vom 18./19. Oktober lag über dem Mittelland eine Nebeldecke mit Obergrenze auf ca. 1000 m ü.M.; südlich der Alpen aber war es bedeckt (Abb. 14). An den nebelfreien Standorten im Bereich des Juras und in den Alpentälern konnte mässiger bis starker Zug verzeichnet werden. Der stärkste Zug konnte bei Adelboden Richtung Hahnenmoospass erfasst werden (MTR = 4000). Ein deutliches Zeichen für die Konzentration der Zuges in den Alpentälern waren die wesentlich geringeren Zugintensitäten, die an erhöhten Standorten (Talflanken) registriert wurden. So war z.B. die Zugintensität bei Jenaz im Prättigau (850 m ü.M.) dreimal grösser als im nahegelegenen Pany (1400 m ü.M.) und in Domat-Ems (590 m

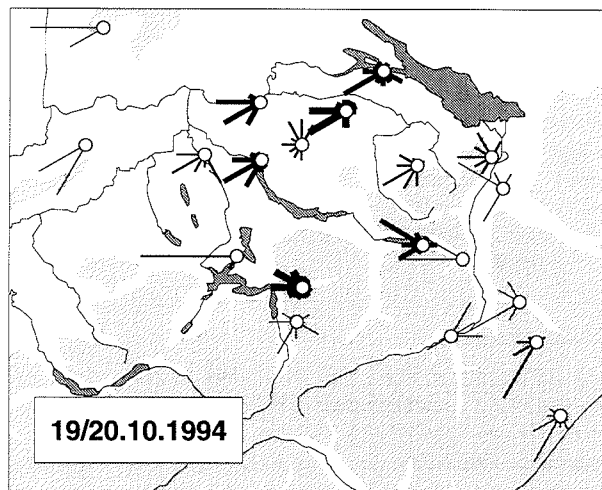
ü.M.) sechsmal grösser als in Feldis (1470 m ü.M.). Bemerkenswert ist im Basler Jura, im Bereich Passwang-Hauenstein, der parallele Verlauf des Zuges entlang den aus dem Nebel ragenden Jurakämmen. Die Hauptzugrichtung liegt deutlich weniger südlich als in anderen Nächten (vgl. Abb. 11, 16, 17). Auf der Höhe des Feldbergs war der Zug gering.

*19./20. Oktober*

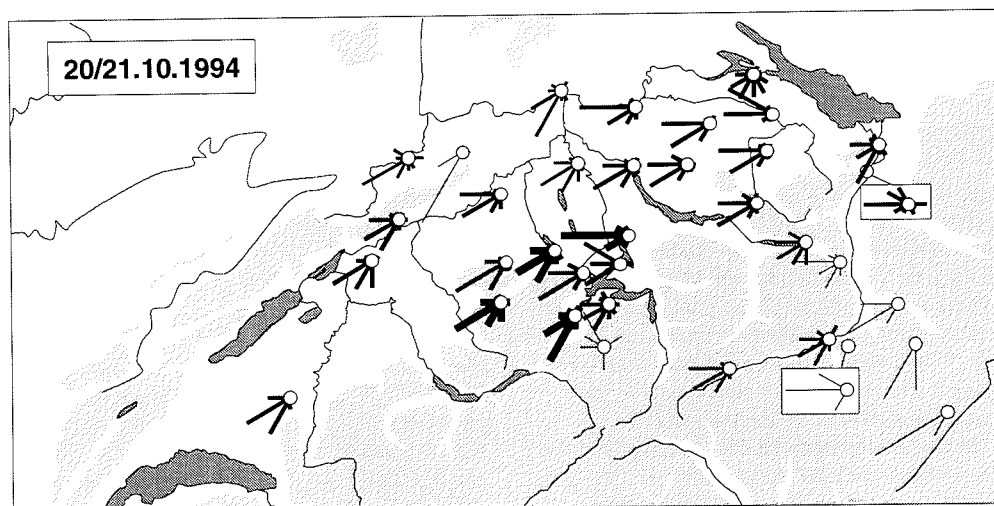
In der Föhnacht vom 19./20. 10. waren aufgrund der Bewölkung Beobachtungen nur im NE möglich (Abb. 15). Im Mittelland dominierte starker SW-Zug (MTR = 3000 bis 5000). Am Alpenrand und in den nördlichen Tälern war der Zug z.T. sehr stark und geprägt durch die lokale Topographie. Zahlreiche Vögel strömten aus dem Alpenraum zurück ins Mittelland. Auch am Zusammenfluss des Vorder- und Hinterrheins, bei Domat-Ems, überwogen bei schwacher Zugintensität (MTR = 460) nordöstliche, talabwärts führende Richtungen. Im Unterschied dazu herrschte in Davos und im Engadin mässiger SSW-Zug (MTR = 1500).

*20./21. Oktober*

Bei anhaltender Föhnlage mit zum Teil erheblichen Niederschlägen im Tessin konnten in der Nacht vom 20./21. 10. im Mittelland und



**Abb. 15.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen auf der Alpennordseite vom 19./20. Oktober 1994. Mässiger Südföhn. – *Proportional distributions of flight directions in the night of 19/20 October 1994. Moderate southerly winds blowing over the Alps («Föhn»), cloud cover in the south.*



**Abb. 16.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen vom 20./21. Oktober 1994. Starker Südöhn. Die beiden Richtungsverteilungen in den weissen Rechtecken (am rechten Bildrand) beziehen sich auf die mit kleinen Kreisen markierten Standorte bei Oberriet (oben) bzw. auf einen Standort oberhalb Domat/Ems bei Feldis. – *Proportional distributions of flight directions in the night of 20/21 October 1994. Strong southerly winds blowing over the Alps («Föhn»), cloud cover in the south. The flight distributions within the white rectangles (on the right) belong to a site south of lake Constance and within the upper Rhine valley, respectively. Both are marked with a small circle and connected to the rectangle with a line.*

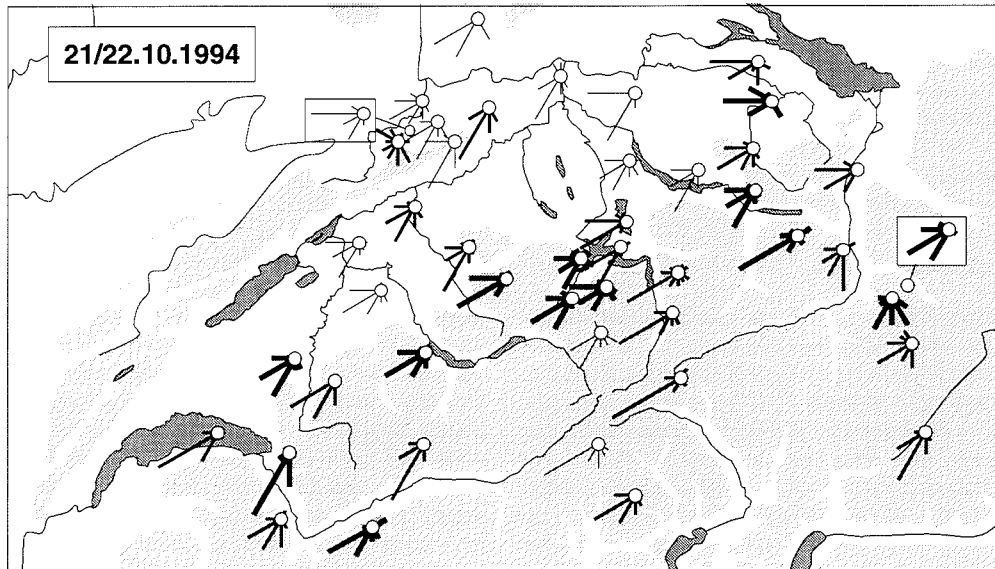
entlang des nördlichen Alpenrandes an verschiedenen Standorten sehr hohe Zugintensitäten registriert werden (Abb. 16). Maximale Werte wurden am Zugersee (MTR = 7000) und im Entlebuch (MTR = 6000) erfasst. Der Einflug ins Mittelland erfolgte grösstenteils entlang des Alpenrandes, während vom Schwarzwald her nur relativ schwacher Zug zu verzeichnen war. Der Einflug in die Alpen wurde weitgehend vermieden. So flog im St. Galler Rheintal bei Oberriet die grosse Mehrheit der Vögel westwärts aus dem Haupttal heraus auf einen Geländeeinschnitt Richtung Appenzell zu, während nur 10 km nördlich (bei Widnau) die Flugrichtungen noch parallel zum Tal verliefen (SSW).

#### 21./22. Oktober

Mit abflauendem Föhn und zumindest in der Westschweiz zunehmendem SW-Wind nahm in der Nacht vom 21./22. Oktober die Zugintensität in den Alpen zu (Abb. 17). Wiederum konzentrierte sich der Zug entlang des Alpen-

nordrandes. Unbeeinflusst vom Ost-West-Verlauf des Rheins, aber offenbar verdriftet durch den SW-Wind (30–50 km/h), überquerten Vögel vom Schwarzwald her in SSW-Richtung die westlichen Juraausläufer und das Mittelland; ähnliche SSW-Richtungen zeigten sich in der ganzen Westhälfte der Schweiz (ausser bei Lausanne; vgl. Abb. 9, 11). Am Standort Sion wurden die Richtungen der SSW-Zieher durch die zahlreichen vom Furka und Nufenenpass herkommenden, talabwärtsfliegenden Vögel überlagert. So entsprechen sich die absoluten Zugintensitäten in Richtung 210° von Sion (MTR = 1050) und Adelboden (1160) ziemlich genau. Wie schon in früheren Nächten lassen sich im Raum Basel kleinräumige, von der lokalen Topographie induzierte Unterschiede in den Richtungsverteilungen feststellen. Bemerkenswert auch der Unterschied zwischen zwei auf gegenüberliegenden Talseiten gelegenen Standorten im Prättigau (1400 bzw. 1250 m ü.M.), wo die Zugintensitäten sehr nahe beisammen liegen (MTR 2200 bzw. 2400). Der Schluss liegt nahe, dass es sich um dieselben





**Abb. 17.** Prozentuale Verteilung der Flugrichtungen vom 21./22. Oktober 1994. Schwache westliche Winde. – *Proportional distributions of flight directions in the night of 21/22 October 1994. Weak westerly winds, some clouds in the south.*

Vögel handelt, die an der Nordflanke von St. Antönien her kommend auf das quer zur Zugrichtung verlaufende Prättigau zufliegen und an der Südflanke in eines der mehr oder weniger südlich verlaufenden Bergtäler einbiegen. Insgesamt war der Anteil an Alpenüberquerern in dieser letzten Nacht der Untersuchungsperiode am grössten.

### 3. Diskussion

#### 3.1. Zugrichtungen

Die Ergebnisse zum Verlauf der Flugrichtungen im schweizerischen Mittelland stehen im Einklang mit den Resultaten früherer Radaruntersuchung (Bruderer 1996). Sie sind aber einzigartig, da sie den Zug gleichzeitig an vielen Beobachtungsorten zeigen. In allen Beobachtungsnächten war eine Ablenkung der Zugrichtung parallel zum Verlauf des Alpenbogens festzustellen. Auch innerhalb des Alpenraumes verlief der Zug meist west- oder südwestwärts; nur ein geringer Anteil bewegt sich südwärts.

Einzig in ausgeprägt südlich verlaufenden Tälern wird der Zug in dieser Richtung kanalisiert. Westwärts verlaufende Täler werden den südwärts verlaufenden vorgezogen. So dominierten beim Zusammenfluss des Vorder- und Hinterrheins die westlichen Richtung deutlich, obwohl sich der südliche Verlauf des Domleschg für eine Alpenüberquerung geradezu anbietet. Auch im Urner Reusstal bei Altdorf folgte der Zugstrom nicht dem nach S führenden Haupttal, sondern den nach SW führenden Seitentälern. Dies wird einerseits dokumentiert durch die Richtungsverteilungen im Tal, andererseits auch durch die allgemein geringeren Zugdichten und die eher westwärts zielenden Flugrichtungen auf dem Gotthardpass im Vergleich zum nahegelegenen Lukmanier. Anpassungen an die Topographie waren aber nicht nur im Alpenraum, sondern auch über dem relativ niedrigen Jura festzustellen. Bei einer geschlossenen Wolkendecke über dem Mittelland flogen die Vögel den nebelfreien Höhenzügen des Juras entlang. Auch in den Südtälern der Alpen sind die Flugrichtungen geprägt durch

Gebirgszüge und Taleinschnitte. Der parallel zum Alpensüdrand verlaufende Ost-West-Zug wird durch die lokale Topographie abgelenkt. Verstärkt konnten diese teilweise nach NW gerichteten Zugbewegungen im Oktober beobachtet werden, was darauf hinweist, dass ein grosser Anteil von Kurzstreckenziehern daran beteiligt sein könnte.

### 3.2. Zugintensitäten

Eine Zusammenfassung der Zugbeobachtungen aller Mittellandstationen im Grossraum Zürich–Bern ergibt für 9 Nächte eine Beobachtungszeit von mehr als 3 h pro Nacht. Die mittlere Zugintensität (MTR) für diese Nächte beträgt 2800 Vögel pro km und h. Werden nur Stationen entlang des Alpennordrandes ausgewählt, so ergibt sich eine mittlere MTR von ca. 4500, ungeachtet davon, ob alle 9 Nächte berücksichtigt werden oder nur jene 5 Nächte mit mehr als 2 h Beobachtungszeit. Innerhalb der Alpen, im Gebiet des Kantons Graubünden, lag die mittlere Zugintensität für dieselben 9 Nächte bei knapp 1200. Lediglich in einer dieser Nächte betrug die Gesamtbeobachtungszeit weniger als 2 h, wobei sich dieser Nachtwert kaum vom Mittelwert unterschied. Im Tessin resultierte aus 6 Nächten mit mehr als 2 h Beobachtungszeit eine mittlere MTR von 600.

Schätzen wir die nächtliche Zugaktivität auf durchschnittlich 9 h und den Nachtmittelwert auf 70 % der von uns beobachteten Durchzugsraten um Mitternacht, so resultiert daraus eine Zahl von knapp 2 Millionen Vögeln, die die Schweiz in einer durchschnittlichen Herbstnacht durchqueren. Da die Beobachtungen nur unter einigermaßen guten Wetterbedingungen möglich waren, dürfte diese Durchschnittszahl einerseits vielleicht zu hoch sein, andererseits handelt es sich bedingt durch die Zählmethode um einen Mindestwert. Radarbeobachtungen haben gezeigt, dass auch in stark bewölkten Nächten sehr starker Zug herrschen kann (Bruderer 1971). Der Zug oberhalb 2000 m ü.G. wird mit Mondbeobachtungen nur in geringem Masse registriert. Allerdings waren an benachbarten Standorten mit erheblicher Höhendifferenz am höhergelegenen Standort zumeist we-

sentlich geringere Zugdichten zu beobachten. Folglich dürfte der hohe Zug in den meisten von uns untersuchten Nächten schwach gewesen sein. Insgesamt ist davon auszugehen, dass die Zugintensitäten anhand von Mondbeobachtungen unterschätzt werden und dass der Zug über 1500 m weitgehend unberücksichtigt bleibt.

In 4 Nächten waren vergleichbare Beobachtungen nördlich und südlich der Alpen möglich. Mit einer MTR von 2500 lag der Mittelwert in diesen Nächten für das Mittelland gut viermal höher als jener für das Tessin (600). Während über dem Mittelland eine mehr oder weniger homogene horizontale Verteilung des Zuges festgestellt wurde, ist im Alpenraum meist mit einer gewissen Konzentration über den Tälern und damit über den meisten Beobachtungsorten zu rechnen. Gleichmässig über die Alpen verteilt dürfte die durchschnittliche Zugintensität nur etwa die Hälfte oder zwei Drittel der über den Tälern bzw. Pässen festgestellten Intensitäten ausmachen. Der Zug erfolgt über dem Mittelland und über den Alpen vorwiegend in Südwestrichtung. Ohne Bewölkungseinfluss dürfte die Zugintensität über den Alpen im Vergleich zum Mittelland bei etwa 30 % liegen. Die geringen Zugintensitäten am Alpensüdrand kommen dadurch zustande, dass die meisten über den Alpen beobachteten Vögel parallel zu den Hauptalpenkämmen fliegen und deshalb gar nicht in die Tessiner Täler gelangen. Die Zugdichten auf der Alpensüdseite sind sehr gering, obwohl dort nicht nur mit Konzentrationen in Tälern, sondern auch mit Zugvögeln von Osten her zu rechnen ist.

### 3.3. Konzentrationen am Alpenrand

Eine Konzentration des Nachtzuges entlang des Alpennordrandes und in verschiedenen Alpentälern konnte praktisch in allen untersuchten Nächten beobachtet werden. Windsituationen, die hohen Zug ungünstig machten (Gegenwind), verstärkten die Konzentrationswirkung entlang der topographischen Strukturen, waren aber nicht ausschliesslich dafür verantwortlich. Bei Föhn waren Konzentrationen im Windschatten der Alpen längs des nördlichen Alpenrandes zu beobachten, wobei Nord-Süd-

verlaufende Täler gemieden wurden. Obwohl in verschiedenen Nächten günstige NE-Winde vorherrschten, überstieg der Anteil der Alpenüberquerer in keinem Fall ein Drittel des aktiven Zuges. Auch in der Nacht vom 17./18. Oktober war bei praktisch geschlossener Hochnebeldecke über dem Mittelland kein verstärkter Zug über die Alpen festzustellen. Wie stark westliche Winde die Vögel an oder in die Alpen drängen, kann aufgrund von Mondbeobachtungen kaum ermittelt werden, da solche Windsituationen zu oft von Bewölkung begleitet sind; einzig die unter leichtem SW-Wind fliegenden Vögel am 21./22. Oktober zeigten eine verstärkte Tendenz zum Einflug in die Alpen. Radaruntersuchungen zeigen aber bei Winden aus dem Sektor NW bis SW starke Verdriftungen über Süddeutschland, alpenparallelen Zug im schweizerischen Mittelland und Einflug in Täler am Alpenrand (Liechti & Bruderer 1986, Bruderer & Jenni 1990, Bruderer 1996).

*Schlussfolgerungen:* Der Einfluss der Alpen auf den Zugablauf durch die Schweiz ist markant. Die Mehrheit der Nachtzieher zieht es vor, etwas von der endogen festgelegten Zugrichtung abzuweichen, um die Alpen mit leicht veränderter Richtung zu umfliegen. Der relativ kleine Anteil an Alpenüberquerern zeigt weiterhin SW-Tendenz, lässt sich aber durch den Verlauf der Täler leiten und vermeidet es in der Regel, steil aufragende Gebirgszüge zu überfliegen.

### 3.4. Beobachtungsmethode

Die relativ einfache Beobachtungsmethode und der beschränkte Zeitaufwand ermöglichten die Mitarbeit vieler Beobachter. Damit wurde eine grossräumige Übersicht erreicht, wie sie mit lokalen Radarbeobachtungen nie möglich gewesen wäre. Insbesondere konnten nur auf diese Weise die bedeutenden Unterschiede zwischen benachbarten Tälern und Talflanken aufgezeigt werden. Durch die grosse Zahl der Mitarbeiter konnten verschiedenen Unzulänglichkeiten der sehr einfachen Beobachtungsmethode weitgehend wettgemacht werden. So dürften nach dem Ausschluss der grössten Fehler individuelle Unterschiede kaum ins Ge-

wicht fallen. Die Mondbeobachtungen haben es ermöglicht, für kurze Beobachtungszeiträume eine Gesamtbeurteilung der Zugrichtungen und Zugintensitäten in einem topographisch stark strukturierten Raum vorzunehmen, während Radarbeobachtungen über längere Zeiträume Informationen über den Zugablauf in begrenzten Gebieten liefern (Bruderer 1996, im Druck).

**Dank.** All den über 600 freiwilligen Beobachterinnen und Beobachtern sind wir zu grossem Dank verpflichtet. Ihre gewissenhafte Mitarbeit hat sich gelohnt und hat den Beweis erbracht, dass gute Zusammenarbeit mit Amateuren bei grossräumigen angelegten Untersuchungen modernen Untersuchungsmethoden überlegen sein kann. Wir danken allen Beobachtern für ihre Daten, L. Jenni, B. Naef-Daenzer und C. Marti für die Durchsicht des Manuskriptes und B. Volet für die französische Übersetzung der Zusammenfassung.

### Zusammenfassung, Resumé, Riassunto, Summary

Der Einfluss der Alpen auf den nächtliche Vogelzug in der Schweiz ist ein Schwerpunkt der Vogelzugforschung an der Schweizerischen Vogelwarte. Erstmals konnte der nächtliche Herbstzug im Alpenraum gleichzeitig grossräumig erfasst werden. Mit Hilfe einer verbesserten Mondbeobachtungsmethode wurden in den Vollmondperioden im Sept. und Okt. 1994 an ca. 300 Standorten über 21 000 Vögel gezählt.

Der Zug im Mittelland ist kanalisiert zwischen Jura und Alpen und folgt dem generellen Verlauf des Alpenbogens. Im Bereich der Alpen und des Juras sind die Flugrichtungen geprägt durch die lokale Topographie, wobei sich der Zug in südwestwärts verlaufenden Tälern konzentriert. Auf der Alpensüdseite treten neben den wenigen SSW-Richtungen der Alpenüberquerer die westlichen Flugrichtungen der dem Alpensüdrand folgenden Zugvögel in den Vordergrund. Ungünstige Höhenwinde aus SW führen zu einer massiven Konzentrierung des Zuges im Mittelland und speziell entlang des Alpennordrandes. Ohne Bewölkungseinfluss dürfte die durchschnittliche Zugintensität über den Alpen im Vergleich zum Mittelland etwa bei 30 % liegen. Der Anteil der effektiven Alpenüberquerer liegt in den allermeisten Beobachtungsnächten unter 20 %. Maximale Konzentrationen mit einer MTR bis zu 8000 Vögeln pro km und Stunde waren ausschliesslich entlang des Alpennordrandes zu beobachten. Schätzungsweise durchqueren in einer durchschnittlichen Herbstzugnacht knapp 2 Millionen Vögel die Schweiz. Der Einfluss der Alpen auf den Zugablauf durch die Schweiz ist markant. Die Mehrheit der Nachtzieher zieht es vor, etwas von der endogen festgelegten Zugrichtung abzuweichen, um die Alpen mit leicht veränderter Richtung zu umfliegen. Der relativ kleine Anteil an Alpenüberquerern zeigt weiterhin SW-Tendenz, lässt sich aber durch

den Verlauf der Täler leiten und vermeidet es in der Regel, steil aufragende Gebirgszüge zu überfliegen.

### **Etude de la migration automnale en région alpine par l'observation du disque lunaire – La topographie et le vent influencent le déroulement de la migration**

En Suisse, les recherches sur la migration nocturne des oiseaux ont débuté dans les années cinquante, avec l'utilisation du radar (Sutter 1957). La Station ornithologique suisse a principalement orienté sa recherche sur l'étude de l'influence des Alpes sur la migration nocturne. Les recherches effectuées avec le radar ont montré que les directions de vol au nord du massif alpin étaient généralement parallèles à la bordure des Alpes, et fortement influencées par la topographie et les vents (revue par Bruderer 1996). Pour une analyse détaillée de l'influence du massif alpin, des données sur le déroulement de la migration au sud des Alpes faisaient encore défaut, de même que des informations sur le nombre d'oiseaux traversant la barrière alpine. Dans ce travail, la migration automnale nocturne a été suivie par la méthode d'observation des migrateurs contre le disque lunaire. Cette méthode a été améliorée en ajoutant une estimation de la distance des oiseaux selon la taille de leur silhouette (Liechti et al. 1995). La méthode et les calculs sont décrits en détails. Pour la première fois, la migration a été suivie simultanément dans une vaste zone comprenant le nord et le sud des Alpes. Pendant les périodes de pleine lune de septembre et d'octobre 1994, 21000 oiseaux ont été comptés sur 300 sites environ. Ce travail évalue les effets locaux et régionaux de la topographie et des conditions météorologiques sur la migration nocturne des oiseaux le long et dans les Alpes suisses. Un autre travail résume les résultats provenant de l'ensemble de la zone d'étude, avec les données printanières (Liechti et al. 1996).

La plupart des nuits, la migration était canalisée entre le Jura et les Alpes. Les observations sur des sites voisins mais à différentes altitudes (en plaine, sur une colline ou une pente) ont montré que la plus grande partie de la migration se déroulait généralement à basse altitude, et donc à portée de vue des observateurs. Les directions de vol sur le Plateau suisse étaient parallèles à l'orientation principale des Alpes (Fig. 9, 16), parfois aussi influencées par des caractéristiques topographiques majeures telles que les larges vallées. Au-dessus des Alpes et du Jura, les directions de vol étaient fortement influencées par la topographie locale; la densité de migration était plus forte dans les vallées orientées au SW, parallèlement à la direction principale de migration. Au sud des Alpes, deux directions principales ont été observées. Premièrement, une minorité d'oiseaux traversait les Alpes avec une direction générale SSW et deuxièmement, des migrateurs volaient vers l'ouest le long de la bordure sud des Alpes (Fig. 9, 12, 13). Des vents contraires à haute altitude provoquaient de fortes concentrations d'oiseaux sur le Plateau suisse et surtout le

long de la limite nord des Alpes (Fig. 9, 15, 16).

L'intensité moyenne de migration était de 2800 (oiseaux/kmh) sur le Plateau suisse, 4500 le long de la bordure nord des Alpes (max. 8000), environ 1200 au-dessus des Alpes et 600 dans les vallées méridionales. Alors que la distribution horizontale des migrateurs est plus ou moins homogène au-dessus du Plateau suisse, il est probable que dans les Alpes, les oiseaux se concentrent au-dessus des vallées et donc de la plupart des sites d'observation alpins. Ainsi, l'intensité de la migration au-dessus des Alpes pourrait être seulement la moitié ou les deux-tiers de celle enregistrée dans les vallées et sur les cols. Lors des nuits peu nuageuses, l'intensité de la migration au-dessus des Alpes ne dépassait pas 30 % de celle notée sur le Plateau suisse. Les observations faites au radar suggèrent que ce pourcentage est même plus faible en moyenne. La plupart des oiseaux qui survolent les Alpes ne les traversent pas du nord au sud, mais volent parallèlement aux principales chaînes de montagnes. De ce fait, la densité de migration est plus faible au sud des Alpes.

En admettant une activité migratoire de 9 heures par nuit et une intensité de migration de 70 % de celle observée généralement aux alentours de minuit, on peut considérer qu'en moyenne, environ 2 millions d'oiseaux traversent la Suisse en une nuit d'automne. En sachant que l'activité migratoire peut aussi être importante par ciel couvert (Bruderer 1971) et que l'observation du disque lunaire permet de détecter au mieux 80 à 90 % des oiseaux volant à moins de 1500 m au-dessus du sol (Liechti et al. 1995), nous considérons ce chiffre de 2 millions comme un minimum. L'influence prononcée des Alpes sur le déroulement de la migration est fortement accrue par vent défavorable mais ne dépend pas de conditions météorologiques spécifiques. La majorité des migrateurs nocturnes préfère dévier de la direction instinctive de vol, en contournant les massifs montagneux.

### **La migrazione autunnale nella regione alpina, osservata contro il disco lunare – La topografia ed il vento condizionano le rotte migratorie**

In Svizzera gli studi sulla migrazione notturna degli uccelli cominciarono negli anni cinquanta con l'introduzione dell'uso del radar (Sutter 1957). Tema principale di ricerca è da allora la comprensione dell'influsso delle Alpi sulla migrazione notturna. Gli studi effettuati con questa tecnica dimostrarono che le direzioni di volo a nord delle Alpi sono generalmente parallele al margine della catena montuosa e ma anche fortemente influenzate dalla topografia e dal vento (Bruderer 1996). Per comprendere in modo esauriente il fenomeno mancavano però dati a sud delle Alpi e pure informazioni sulle quantità di uccelli che attraversano le Alpi. L'osservazione contro il disco lunare «moon watch» è stata utilizzata per studiare la migrazione autunnale. Questo metodo è stato perfezionato con l'aggiunta della stima della distanza degli uccelli, sfruttando la dimensione delle loro sagome in volo

(Liechti et al. 1995). Una descrizione completa della metodologia utilizzata è inclusa nel presente lavoro. Per la prima volta la migrazione è stata osservata simultaneamente su un vasto territorio a nord ed a sud delle Alpi. I rilevamenti hanno avuto luogo nelle notti di plenilunio dei mesi di settembre ed ottobre 1994 quando, in circa trecento punti di osservazione, sono stati contati oltre 21 000 individui. Questa pubblicazione tratta degli effetti locali e regionali lungo le Alpi svizzere ed all'interno di esse; una descrizione dell'intera area di studio è contenuta in Liechti et al. (1996).

Nella maggior parte delle notti la migrazione si presentava incanalata fra il Giura e le Alpi. Siti di osservazioni vicini ma ad altitudini differenti (in pianura, in collina o sui versanti) hanno mostrato nella maggior parte delle notti come la parte più importante della migrazione sia avvenuta ad altitudini relativamente basse, e di conseguenza nel campo visivo dei rilevatori. Nelle regioni pianeggianti della Svizzera, le direzioni di volo sono risultate parallele alla catena principale delle Alpi. (fig. 9, 16). All'interno del Giura e della Catena alpina queste erano fortemente influenzate dalla topografia locale visto che il flusso migratorio era più concentrato nelle valli orientate verso SW, parallele quindi alla direzione principale di migrazione. A sud delle Alpi sono state osservate due principali direzioni migratorie. La prima con pochi individui che attraversavano le Alpi con direzione SSW e la seconda con una direzione occidentale lungo il bordo meridionale delle Alpi (fig. 9, 12, 13). Le grandi concentrazioni di uccelli migratori nelle regioni pianeggianti della Svizzera osservate soprattutto lungo il margine settentrionale delle Alpi sono state determinate dai venti contrari ad alta quota (fig. 9, 15, 16).

Nelle pianure svizzere l'intensità media di migrazione è risultata di 2800 individui/kmh, di 4500 lungo il margine settentrionale delle Alpi (massimo: 8000), di circa 1200 all'interno di esse ed infine di 600 nelle valli meridionali. Mentre al di sopra delle regioni pianeggianti la distribuzione orizzontale dei migratori era più o meno omogenea, all'interno delle Alpi questi ultimi si concentravano al di sopra dei solchi vallivi e di conseguenza sopra ai siti di rilevamento. Così l'intensità di migrazione sopra le Alpi era probabilmente solo la metà o di due terzi di quella registrata nelle valli e sui passi. Questa corrispondeva mediamente a poco più del 30 % di quella osservata sopra le pianure svizzere nelle notti con poche nuvole. Il maggior numero di questi uccelli non attraversa le Alpi da Nord a Sud ma vola parallelamente al corrugamento. Sulla base di una attività migratoria di 9 ore per notte ed ad una intensità media pari al 70 % di quella osservata attorno a mezzanotte, si può stimare che durante ogni notte autunnale normalmente circa 2 milioni di uccelli attraversino la Svizzera. Considerando inoltre che con cielo coperto ci può essere una considerevole attività migratoria (Bruderer 1971) e che con il metodo utilizzato per questa ricerca, nella migliore delle ipotesi, si è potuto contare solo l'80-90 % degli uccelli (Liechti et al. 1995), la stima di 2 milioni di individui deve essere considerata per difetto. L'importan-

te influsso determinato dalle Alpi sulla migrazione non dipende da particolari situazioni meteorologiche anche se quest'ultima è fortemente aumentata da condizioni sfavorevoli di vento. La maggior parte dei migratori notturni preferisce infine scostarsi un poco dalla rotta istintiva di volo per deviare attorno alle Alpi.

#### **Autumn migration in the area of the Alps according to moonwatching. – Topography and wind affect the course of migration**

The investigation of nocturnal bird migration started in Switzerland with the introduction of radar ornithology in the 50ies (Sutter 1957). A main subject of bird migration research at the Swiss Ornithological Institute was to investigate the influence of the Alps on nocturnal migration. Radar studies showed that flight directions north of the Alps were in general parallel to the border of the Alps, but highly influenced by topography and wind (review Bruderer 1996). For a comprehensive assessment of the influence of the Alps, data on the course of migration south of the Alps was lacking, as well as information on the quantities of birds crossing the alpine ridges. In this study, moon watching was used to record nocturnal autumn migration. The moon watching method was improved by estimating the distance of the birds according to their silhouette size (Liechti et al. 1995). A full description of the method and of the calculations is included. For the first time, migration was observed simultaneously in a large area north and south of the Alps. Observations took place in September and October 1994 during the period of full moon. At about 300 sites more than 21'000 birds were counted. This paper deals with local and regional effects of topography and weather on nocturnal bird migration along and within the Swiss Alps. The results of the whole study area and including the spring data are given in Liechti et al. (1996).

In most nights migration was funnelled between the Jura mountains and the Alps. Neighbouring sites at different levels above sea (in the plain and on a hill or slope, respectively) showed for most of the observation nights that the main portion of migration was at relatively low levels, and therefore within the sight of the moonwatchers. Flight directions in the Swiss Lowlands were parallel to the main course of the Alps (fig. 9, 16), sometimes also influenced by some major topographical features like large valleys. Above the Alps and the Jura mountains, flight directions were highly influenced by local topography; the density of migration was increased in valleys running south-westward, parallel to the main migratory direction. South of the Alps two principal directions were observed. First, the few birds crossing the Alps with mainly SSW-directions and second, the migrants flying with westerly directions along the southern border of the Alps (fig. 9, 12, 13). Huge concentrations in the Swiss Lowlands and especially along the northern border of the Alps were induced by opposing winds at high altitudes (fig. 9, 15, 16).

Mean migratory intensity was 2800 (birds/kmh) in the Swiss Lowlands, 4500 along the northern border (max. 8000), about 1200 above the Alps and 600 in the southern valleys. While above the Lowlands the horizontal distribution of migrants is more or less homogeneous, a concentration above the valleys and therefore, above most observation sites in the Alps is very likely. Thus, migratory intensity over the Alps might be only half or two thirds of the one registered in the valleys and on passes. In nights with few clouds the migratory intensity above the Alps was not more than 30 % of the one above the Swiss Lowlands. Radar observations suggest that this percentage is even lower on average. Most of these birds flying above the Alps are not crossing the mountain range from north to south, but are flying parallel to the main ridges. Therefore, the density of migration is even more reduced at the southern border of the Alps.

Assuming a migratory activity of 9 hours per night and a migratory intensity of 70 % of the average observed around midnight, about 2 million birds are crossing Switzerland on an average autumn night. Taking into account that also under overcast sky migratory activity can be considerable (Bruderer 1971) and that moonwatching detects in the best case 80 to 90 % of the birds flying below 1500 m above ground (Liechti et al. 1995), we consider this number of 2 millions as a minimum. The pronounced influence of the Alps on the course of migration does not depend on specific weather situations, but is strongly increased under unfavourable wind conditions. The majority of nocturnal migrants prefers to deviate from the endogenously fixed directions, slightly curving around the mountain range.

## Literatur

- BAUMGARTNER, M. & B. BRUDERER (1985): Radarbeobachtungen über die Richtungen des nächtlichen Vogelzuges am nördlichen Alpenrand. *Orn. Beob.* 82: 207–230.
- BLOCH, R., B. BRUDERER & P. STEINER (1981): Flugverhalten nächtlich ziehender Vögel – Radardaten über den Zug verschiedener Vogeltypen auf einem Alpenpass. *Vogelwarte* 31: 119–149.
- BOLSHAKOV, K. V. (1985): Moon-watch method for quantitative studying of nocturnal bird passage (collection, calculation and analysis of data. In: V. R. DOLNIK: «Spring nocturnal bird passage over arid and mountain areas of middle Asia and Kasakhstan». *Proc. Zool. Inst. Leningrad; USSR Academy of Sciences.* (Russ. with English summary).
- BRUDERER, B. (1971): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im schweizerischen Mittelland. *Orn. Beob.* 68: 89–158. – (1978): Effects of Alpine topography and winds on migrating birds. In: K. SCHMIDT-KOENIG & W. T. KEETON (Hrsg.): *Animal migration, navigation, and homing.* Berlin, S. 252–265. – (1981): Stand und Ziele der Radarvogelzugforschung in der Schweiz. *Rev. Suisse Zool.* 88: 855–864. – (1982): Do migrating birds fly along straight lines? In: F. PAPI & H. G. WALLRAFF (Hrsg.): *Avian Navigation.* Springer, Berlin, S. 3–14. – (1996): Vogelzugforschung im Bereich der Alpen 1980–1995. *Orn. Beob.* 93: 119–130. – (im Druck): The study of bird migration by radar. Part I: The technical basis. *Naturwissenschaften.*
- BRUDERER, B. & L. JENNI (1980): Ein nationales Programm für die Vogelzugforschung in der Schweiz. *Orn. Beob.* 77: 56–58. – (1990): Migration across the Alps. In: E. GWINNER (Hrsg.): *Bird Migration.* Berlin, S. 60–77.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1990): Richtungsverhalten nachziehender Vögel in Süddeutschland und der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung des Windeinflusses. *Orn. Beob.* 87: 271–293. – (1994): Quantification of bird migration – different means compared. *Proc. Bird Strike Comm. Europe, Vienna,* 22: 243–254.
- BRUDERER, B., L. UNDERHILL & F. LIECHTI (1995): Altitude choice of night migrants in a desert area predicted by meteorological factors. *Ibis* 137: 44–55.
- DOLNIK, V. R. (1990): Bird migration across arid and mountainous regions of Middle Asia and Kasakhstan. In: E. GWINNER (Hrsg.): *Bird migration.* Berlin, S. 352–386.
- LIECHTI, F. (1992): Flugverhalten nächtlich ziehender Vögel in Abhängigkeit von Wind und Topographie. *Diss., Univ. Basel.*
- LIECHTI, F. & B. BRUDERER (1986): Einfluss der lokalen Topographie auf nächtlich ziehende Vögel nach Radarstudien am Alpenrand. *Orn. Beob.* 83: 35–66.
- LIECHTI, F., H. PAPROTH & B. BRUDERER (1994): Quantification of nocturnal bird migration: a comparison of three methods. *J. Orn.* 135: 261.
- LIECHTI, F., B. BRUDERER & H. PAPROTH (1995): Quantification of nocturnal bird migration by moonwatching: comparison with radar and infrared observations. *J. Field Ornithol.* 66: 457–468.
- LIECHTI, F., D. PETER, R. LARDELLI & B. BRUDERER (1996): Die Alpen, ein Hindernis im nächtlichen Breitfrontzug – eine grossräumige Übersicht basierend auf Mondbeobachtungen. *J. Orn.* 137 (im Druck).
- LOWERY, G. J. (1951): A quantitative study of the nocturnal migration of birds. *Univ. Kansas Publ., Mus. Nat. Hist.* 3: 361–472.
- NISBET, I. C. T. (1959): Calculation of flight directions of birds observed crossing the face of the moon. *Wilson Bull.* 71: 237–243.
- RÜSCH, E. & B. BRUDERER (1981): Einfluss der Topographie auf nächtlich ziehende Vögel. *Rev. suisse Zool.* 88: 865–874.
- STEIDINGER, P. (1968): Radarbeobachtungen über die Richtung und deren Streuung beim nächtlichen Vogelzug im Schweizerischen Mittelland. *Orn. Beob.* 65: 197–226.
- SUTTER, E. (1957): Radar als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. *Orn. Beob.* 54: 70–96.

*Manuskript eingegangen 25. Oktober 1995  
Bereinigte Fassung angenommen 8. März 1996*