

Aus der Schweizerischen Vogelwarte

Vogelzugstudien mit Zielfolgeradar im Süden Israels

Bruno Bruderer, Felix Liechti, Matthias Kestenholz, Dieter Peter, Reto Spaar, Herbert Stark und Thomas Steuri

Tracking radar studies on bird migration in southern Israel. – An environmental impact study on behalf of the Israel Ministry of Communication provided the possibility for intense studies on spring and autumn migration at two sites in the semi-deserts of southern Israel (1991 and 1992). The present review summarizes the results of these studies and provides access to the corresponding publications. A brief description of the methods is followed by an estimation of the collision risk at the wires of a large radio antenna and by an evaluation of the potential influence of radar and radio waves on the orientation of birds. The main subjects of the review are: Timing of migration (between and within seasons, day-to-day and diurnal); height distribution (average and modifications due to weather and topography, predictions of flight altitudes); directions and orientational behaviour (average and modifications due to wind, reverse migration); flight behaviour (airspeed, groundspeed, vertical speed, optimal flight behaviour); migration in relation to desert crossing.

Key words: Nocturnal migration, diurnal migration, Israel, desert crossing, timing, altitude, direction, topography, wind, radar, electromagnetic waves, collision risk.

Prof. Dr. Bruno Bruderer, Dr. Felix Liechti, Dr. Matthias Kestenholz, Dieter Peter, Dr. Reto Spaar, Dr. Herbert Stark, Thomas Steuri, Schweizerische Vogelwarte, CH–6204 Sempach

Pläne zum Bau einer grossen Relais-Station (Umsetzer) für Voice of America und Radio Freies Europa im Arava-Tal (Süd-Israel) wurden seit 1986 kontrovers diskutiert. Die Tatsache, dass der östliche Rand des Mittelmeeres eines der bekanntesten Konzentrationsgebiete von tagziehenden Vögeln ist, führte zur Opposition von Naturschutzorganisationen gegen das Projekt. Verheerende Auswirkungen wurden vor allem auf den bis dahin kaum untersuchten Nachtzug erwartet. Das lockere Netz von Drähten sollte sich über Höhen von 58 bis 155 m und über eine Distanz von rund 2 km quer zur Talachse erstrecken (Abb. 1). Ein weiterer Kilometer solcher «Tischtuchantennen» längs zur Talachse war für den Naturschutz von geringerem Interesse, beunruhigte aber Touristikfachleute und die lokale Bevölkerung.

Die Hauptfrage der Naturschützer war, wie viele – vor allem nachziehende – Vögel durch den Bereich der Tischtuchantennen fliegen und wie viele davon mit Drähten kollidieren würden. Eine sekundäre Frage war, ob das Orientierungsvermögen der Zugvögel durch die ab-

gestrahlten Kurzwellen beeinträchtigt werden könnte. Im Juli 1991 entschied der Oberste Gerichtshof Israels, dass mit dem Bau der Radio-Station nicht begonnen werden dürfe, bevor das Ausmass der von der geplanten Antenne ausgehenden Gefahren für den Vogelzug geklärt sei. Aufgrund dieses Urteils erhielt die Schweizerische Vogelwarte vom israelischen Kommunikations-Ministerium den Auftrag, die Zahl und das Flugverhalten der Zugvögel im geplanten Antennenbereich zu untersuchen. Die Aufgabe, den Einfluss elektromagnetischer Wellen auf die Orientierung der Vögel zu klären, wurde damals nicht von der Vogelwarte übernommen, führte aber zu einigen eigenen Untersuchungen in dieser Richtung.

Wir nutzten das vollständig von dritter Seite finanzierte Projekt, um neben den Fragen der Auftraggeber auch rein biologische Fragen zum Zugablauf in einem Halbwüstengebiet am Nordrand der Passatwindzone anzugehen. Da das Antennenprojekt schliesslich aus politischen Gründen aufgegeben wurde, sind heute die wissenschaftlichen Ergebnisse über den

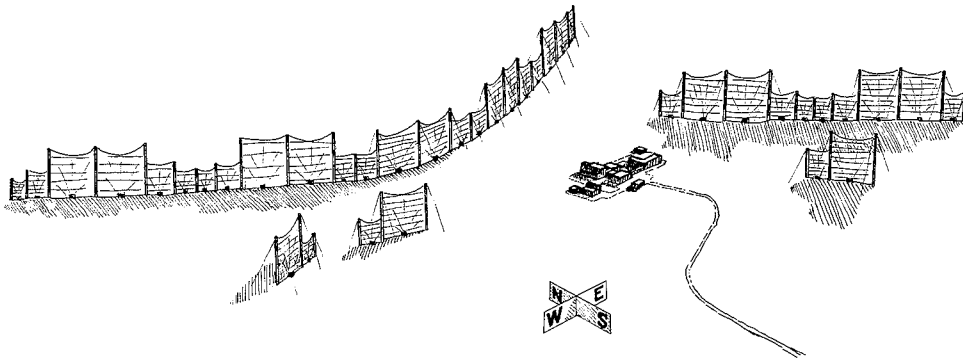


Abb. 1. Skizze der im Arava-Tal geplanten Antennenanlage (Umsetzer-Station für Voice of America und Radio Free Europe). Der in West-Ost-Richtung verlaufende Antennenbogen hätte 2 km lang und 58 bis 155 m hoch werden sollen. Weitere kleinere «Tischuchantennen» waren südlich davon geplant, im Zentrum die Gebäude dazu. – *Sketch of the planned antenna system (relais station for Voice of America and Radio Free Europe) in the Arava Valley. The W-E leading bow of the antennas was planned for a length of 2 km and heights of 58 to 155 m. Smaller arrays of «table cloth antennas» were intended further S, the buildings in the center.*

Vogelzug die einzigen bleibenden Resultate dieses Bauvorhabens.

Wir stellen im Folgenden kurz die Beurteilung des Kollisionsrisikos vor und fassen auch die Erkenntnisse aus unsern Studien zum Einfluss von elektromagnetischen Wellen zusammen. Der Hauptteil unseres Übersichtsartikels befasst sich mit dem Vogelzug im Süden Israels, insbesondere mit folgenden Themen: jahres- und tageszeitlicher Ablauf des Vogelzuges, Höhenverteilung und Richtungsverhalten, Fluggeschwindigkeiten sowie Zugverhalten im Zusammenhang mit Wüstenüberquerungen.

Wir gehen nicht auf den generellen Ablauf des Vogelzuges in Israel ein. Dazu existieren genügend Publikationen: z.B. ein Grundsatzartikel von Yom-Tov (1988), eine umfassende Literaturübersicht von Frumkin et al. (1995) sowie zwei einleitende Kapitel zum Buch «The birds of Israel» von Shirihi (1996), wo zuerst der Tagzug dargestellt und in einem zweiten Teil (Bruderer 1996) der Nachtzug charakterisiert wird.

1. Methoden

1.1. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Süden Israels, in der Halbwüste des Negev (Bruderer 1992, 1994a, Abb. 2). Die Hauptstation befand sich am geplanten Standort der Radio-Antenne im Arava-Tal, ca. 140 km nördlich von Eilat und 40 km südlich des Toten Meeres, 150 m unter dem Meeresspiegel, in der Nähe der Moshavim Hazeva und Iddan ($30^{\circ}49'N/35^{\circ}15'E$; Abb. 3a). Die Talsohle ist zum Teil felsig, zum grossen Teil aber mit Sand bedeckt. Wo das Grundwasser im Schotter des Untergrundes relativ nahe an die Oberfläche kommt, gedeihen Tamarisken und Schirmakazien, die einzelnen Flächen des Arava-Tales ein savannenartiges Aussehen geben (Abb. 3b). Im Gegensatz zu einer echten Savanne dominiert aber zwischen den Einzelbäumen und Büschen der blosse Sandboden; nur vereinzelt stehen Horste von robusten Grasarten, Wüstenreseden oder kleinwüchsige Sträucher (Abb. 3c). Eine Vergleichsstation wurde im Hochland des Negev (470 m ü.M.), in der Nähe von Sede Boquer, eingerichtet ($30^{\circ}52'N/34^{\circ}47'E$; Abb. 3d). Die Hügel sind mehrheitlich bedeckt mit

Zwergsträuchern (Abb. 3e). In den trockenen Jahreszeiten wirken sie wie abgestorben; dazwischen liegen blosse Sandstein- oder Kalkfelsen bzw. deren Zerfallsprodukte an der Oberfläche. Nach den seltenen, z.T. aber sehr heftigen Regenfällen im Winter oder Frühling erblüht diese Halbwüste in den schönsten Farben und der Boden ist bedeckt mit einem zartgrünen Schimmer von locker stehendem Gras (Abb. 3f). Die Wassermassen der sporadisch fallenden Regengüsse haben tiefe Wadis in die Hochfläche gegraben, die zum Teil imposante Schluchten bilden.

Die Beobachtungen im Arava-Tal umfassten folgende Perioden: 9. September bis 31. Oktober 1991, 1. März bis 20. Mai 1992 und 10. August bis 19. September 1992. Die Station im Negev-Hochland (45 km westlich der Hauptstation) wurde vom 12. September 1991 bis 31. Oktober 1991 sowie vom 31. März 1992 bis 30. April 1992 betrieben.

1.2. Beobachtungsgeräte und Registrierungsmethoden

Wichtigstes Beobachtungsinstrument war der Zielfolgeradar «Superfledermaus», der unter der Bezeichnung Feuerleitgerät 69 in der Fliegerabwehr der Schweizer Armee verwendet und ab 1975 sukzessive durch die «Skyguard»-Geräte abgelöst wurde. Um Störechos aus der Umgebung abzuschirmen, werden die Geräte normalerweise in natürliche Mulden gestellt. In Israel waren wir in der glücklichen Lage, dass ideale Stellungen geschaffen werden konnten, indem an beiden Orten 2,5 m hohe Sandwälle mit einem Radius von 30–40 m aufgeschüttet wurden (Abb. 3a, d).

Die technischen Grundlagen der Radarornithologie wurden von Bruderer (1997a) erörtert; eine Kurzfassung dazu kann bei Bruderer & Liechti (1998a) in dieser Zeitschrift nachgelesen werden. Dort sind auch die Besonderheiten der Beobachtung mit der «Superfledermaus» dargestellt. Ein geschichtlicher Abriss zur Entwicklung der Beobachtungs- und Registrierungsmethoden mit der «Superfledermaus» findet sich bei Bruderer (im Druck). Hier sei lediglich festgehalten, dass dieser X-Band Radar mit zwei verschiedenen Arbeitsmodi eingesetzt wird: Im Überwachungsmodus wird die

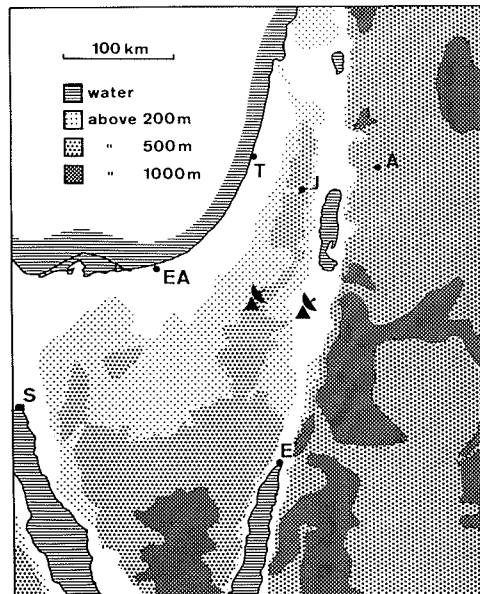


Abb. 2. Karte des Untersuchungsgebiets mit Tel Aviv (T), dem Sinai zwischen dem Golf von Suez (S) und dem Golf von Eilat (E) sowie den zentralen Bergketten Israels mit Jerusalem (J) im NE. Der Syro-Afrikanische Graben, der vom See Genezareth über das Tote Meer zum Golf von Eilat führt, trennt das Negev/Sinai-Bergland von den jordanischen Bergen (A = Amman). Eine Radarstation stand 150 m unter dem Meeresspiegel im Arava-Tal, die andere auf 470 m über Meer im Negev Hochland bei Sede Boqer. – Map of the study area with Tel Aviv (T), the Sinai between the Gulf of Suez (S) and the Gulf of Eilat (E) as well as the central mountain ridges of Israel with Jerusalem (J) to the NE. The Syro-African Rift Valley, leading from Lake Kinneret via the Dead Sea to the Gulf of Eilat, separates the Negev/Sinai mountains from the Jordan Highlands (A = Amman). One radar station was in the Arava Valley 150 m below sea level, the other in the Negev Highlands (Sede Boqer) 470 m above sea level.

räumliche Verteilung der Vögel in einer Halbkugel von etwa 5 km Radius festgestellt. Diese quantitative Methode wurde in Israel von Sonnenuntergang bis morgens um 9 Uhr (z.T. auch länger) im Zweistunden-Rhythmus angewendet, wobei eine Messung 12 bis 15 Minuten beanspruchte. In der Zeit zwischen den quantitativen Messungen wurden qualitative Daten erhoben: Dazu werden einzelne Ziele ausgewählt und automatisch verfolgt. Mit dieser Zielfolge-



Abb. 3a. Die Radarstation im Arava-Tal; dahinter ein aufgeschütteter Sandwall, Akazienflächen und die jordanischen Berge. – *The radar station in the Arava Valley; note the dam of sand around the station, the Acacia bushes in the valley behind, and the Jordanian mountains in the background.*



Abb. 3b. Savannenartige Akazien-Bestände im Arava-Tal. – *Savanna-like Acacia aggregations in the Arava Valley.*



Abb. 3c. Dromedare, die an den wenigen Sträuchern rund um die Radarstation fressen (im Hintergrund der Radardamm). – *Camels feeding on the sparse bushes around the radar station (note the radar dam in the background).*

Abb. 3d. Die Radarstation im Negev-Hochland mit dem schützenden Sandwall und den Abhängen des Wadi Zin im Hintergrund. – *The radar station in the Negev Highlands with a dam of sand around and the slopes of Wadi Zin in the background.*



Abb. 3e. Zwergstrauch-Vegetation auf den Hügeln des Negev während der Trockenzeit. – *Dwarf scrub vegetation on the slopes of the Negev hills in the dry season.*



Abb. 3f. Das Negev Hochland in voller Blüte nach ausserordentlich heftigen Regenfällen im Frühling 1992 (im Vordergrund unzählige Blüten der berühmten Schwarzen Iris). – *The Negev in full blossom after exceptionally heavy spring rains in 1992 (note the famous Black Iris scattered all over).*



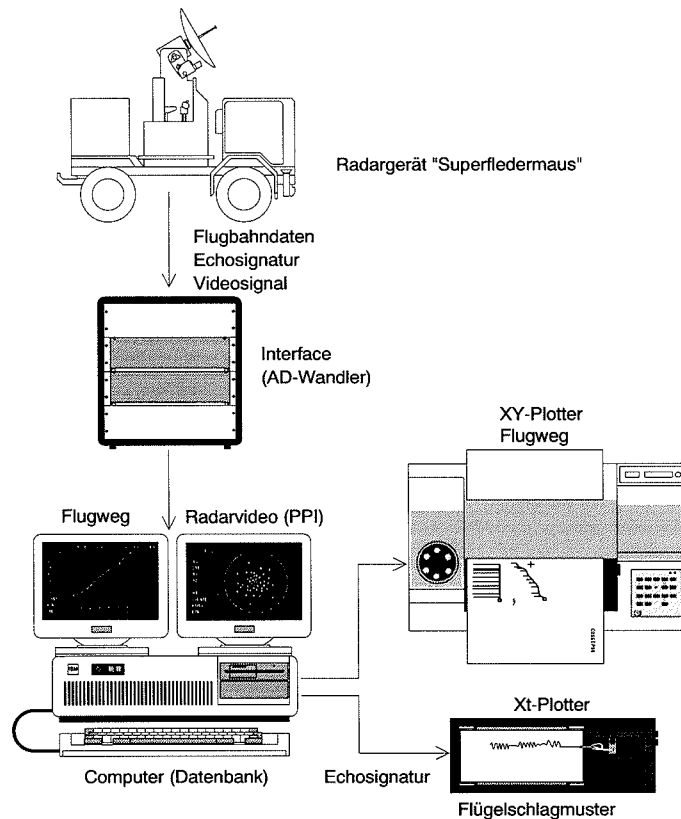


Abb. 4. Schema der Registrieranlage. – The registration array with the tracking radar «Superfledermaus» providing the polar coordinates and the echo-signatures to the interface with an integrated AD-converter. From the interface the signals are transferred to a PC, where the flight paths and wing-beat pattern of tracked birds or a PPI presentation of conical scanings can be visualized and stored. The flight paths and wing-beat pattern can also be visualized on plotters (to the right).

methode können Flugwege und Flügelschlagmuster registriert werden. Ein parallel zum Radarstrahl montiertes Fernrohr (12,4-fach) erlaubt tagsüber die Identifikation von nahe vorbeifliegenden Vögeln. Alle vier Stunden wurde zudem ein Windmessballon verfolgt, um die Windverhältnisse für alle Höhenbereiche des Zugeschehens zu ermitteln (Abb. 4).

Zeitweise wurden im Arava-Tal zwei Radaranlagen parallel betrieben, wobei eine für Experimente verwendet werden konnte (Abb. 3a, Kap. 2.2.1). Von besonderer Bedeutung waren Parallelbeobachtungen mit Radar, Infrarot und vor der Mondscheibe. Damit konnte eine Distanz-Eichung der beiden optischen Methoden (Infrarot und Mond) erreicht werden (Bruderer & Liechti 1994, Liechti et al. 1995, Bruderer & Liechti 1998b), während beim Radar der vor-

her nur ungenau bekannte wirksame Strahlöffnungswinkel definiert werden konnte. Der experimentelle Radar wurde in einzelnen Nächten auch verwendet, um zeitlich dichtere Messdaten über den quantitativen Zugablauf zu erhalten. Alle Daten wurden mit eigenen Programmen (© Software Büro Steuri & Schweizerische Vogelwarte) mit PC's visualisiert und gespeichert.

Die Auswertung der quantitativen Daten erfolgte in mehreren Schritten: (a) Ausscheidung unerwünschter Ziele (z.B. Bodenechos, Insekten), (b) Kompensierung verschiedener Verzerrungen (z.B. aufgrund der mit der Entfernung abnehmenden Entdeckungswahrscheinlichkeit, aber auch je nach Einfallswinkel der Radarstrahlen), (c) Kompensation für den in Abhängigkeit von der Distanz variierenden über-

wachten Raum. Details dazu finden sich bei Bruderer et al. (1995a).

Bei der Auswertung der Flugwege wurden die im Sekundentakt registrierten Datenpunkte von 10 oder 20 Sekunden durch Regressionsgeraden approximiert. Die Regressionsdaten liefern die mittlere Richtung, Vertikalgeschwindigkeit und Geschwindigkeit über Grund sowie die mittlere Höhe im entsprechenden Zeitintervall. Eigenrichtung (Kurswinkel) und Eigengeschwindigkeit des Vogels wurden durch Verrechnung (Vektoraddition) mit Winddaten auf der betreffenden Flughöhe ermittelt.

Die durch die Flügelschläge der Vögel erzeugten Echosignaturen erlaubten eine grobe Klassierung der am Nachtzug beteiligten Vögel. Die digital registrierten Flügelschlagmuster wurden interaktiv bearbeitet: Kontinuierlich schlagende Vögel (insbesondere Wat- und Wasservögel) wurden abgetrennt von Singvögeln (mit eher kurzer Dauer von Schlagphasen und Pausen), von Seglern (mit langen Schlagphasen und variablen Pausen) und von nicht identifizierbaren Zielen (z.B. Vogelschwärme, Insekten) (Liechti & Bruderer 1995).

2. Ergebnisse

2.1. Kollisionsrisiko an einer «Tischtuchantenne»

Die folgende Analyse war Teil des dem israelischen Kommunikations-Ministerium abgelieferten Gutachtens (Bruderer et al. 1992). Sie enthält einige grundsätzliche Überlegungen zur Berechnung von Kollisionsrisiken, die auch im Zusammenhang mit anderen Bauvorhaben von Interesse sein dürften.

Die Gesamtfläche der quer zur Talachse stehenden Antenne wurde mit durchschnittlich 100 m Höhe und 2 km Breite auf 200 000 m² veranschlagt (Abb. 1). Die «Netto-Fangfläche» der Antenne ist sehr viel kleiner; sie ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit, mit der die durch die Brutto-Fläche fliegenden Vögel mit einem Draht kollidieren. Diese Wahrscheinlichkeit soll im Folgenden unter erheblicher Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse berechnet bzw. geschätzt werden.

In einem ersten Ansatz wird angenommen,

dass die nächtlich ziehenden Vögel keine Ausweichmanöver gegenüber den Drähten vornehmen. Die Flügelspannweite eines durchschnittlichen Singvogels (Mehrheit der Durchzügler) wird mit 20 cm eingesetzt, diejenige eines durchschnittlichen Watvogels mit 45 cm. Bei Singvögeln wird angenommen, dass beim Auf- und Abschlag der Flügel vertikal beinahe 180° und damit etwa 18 cm überstrichen werden, bei Watvögeln schätzungsweise 130° und damit etwa 40 cm. Während der Flügelschläge wechselt die Flügelstellung mit hoher Geschwindigkeit zwischen oben und unten (Schlagfrequenz 10–20 Hz). Beim Abschlag sind die Flügel vollständig gestreckt, beim Aufschlag sind sie vor allem bei Singvögeln relativ stark an den Körper gezogen. Wenn wir zum Zeitpunkt des Passierens eines Drahtes mit einer Mittelstellung der Flügel rechnen, können wir uns die mittlere Auftrefffläche eines Singvogels mit 9 cm ($\frac{1}{2}$ von 18 cm) vertikal und 15 cm (10–20 cm) horizontal vorstellen. Bei Watvögeln wären 20 cm ($\frac{1}{2}$ von 40 cm) vertikal und etwa 40 cm (35–45 cm) horizontal anzunehmen. Während die Watvögel ständig mit ihren Flügeln schlagen, kann bei Singvögeln davon ausgegangen werden, dass sie die Flügel während etwa einem Drittel der Zeit geschlossen halten.

Die Maschenweite (d.h. die Öffnungen zwischen den Drähten der Antenne) war bei der geplanten Hauptantenne im Mittel 8 m breit und 0,7 m hoch. Wenn für einen Singvogel mit geschlossenen Flügeln ein Durchmesser von 3 cm angenommen wird, würde einer von 266 Vögeln (ca. 0,4 %) einen vertikalen Draht treffen, während einer von 23 Vögeln (ca. 4 %) einen horizontalen Draht treffen könnte. Dies ergibt für $\frac{1}{3}$ der Singvögel ein Kollisionsrisiko von 4,4 %. Wenn die Singvögel mit offenen Flügeln mit 9 cm vertikaler und 15 cm horizontaler Ausdehnung in die Rechnung eingehen, würde etwa einer von 7,8 Vögeln (knapp 13 %) mit einem horizontalen und einer von 53 Vögeln (knapp 2 %) mit einem vertikalen Draht kollidieren. Dies ergibt für $\frac{2}{3}$ der Singvögel ein Kollisionsrisiko von knapp 15 %. Das durchschnittliche Kollisionsrisiko für Singvögel wäre demnach etwa 11,5 %.

Da bei einem Watvogel ständig mehr oder weniger offene Flügel angenommen werden

müssen, ergibt sich folgende Rechnung: Bei durchschnittlicher Vertikalausdehnung von 20 cm würde einer von 3,5 Vögeln einen horizontalen Draht treffen (29 %), während bei 40 cm Horizontalausdehnung einer von 20 (5 %) einen vertikalen Draht touchieren würde. Dies ergäbe eine durchschnittliche Kollisionsrate für Watvögel von 34 %.

Aus unseren Daten ergibt sich, dass sich unter den auswertbaren Flügelschlagmustern etwa $\frac{1}{3}$ kontinuierlich schlagende und $\frac{2}{3}$ intermittierend schlagende Vögel befanden. Für $\frac{2}{3}$ des Gesamtzuges gilt demnach ein Kollisionsrisiko von 11,5 %, für $\frac{1}{3}$ ein solches von 34 %, somit 19 % für den gesamten Nachtzug.

Die einzelnen Tischuchantennen bestehen aus einem Reflektor-Vorhang (siehe oben) und einem zusätzlichen Dipol-Vorhang. Der Dipolvorhang besteht aus 6 horizontalen Bündeln von Drähten, die an 8 vertikalen Drähten hängen. In diesem Fall betrug die Maschenweite etwa 5×10 m, das Kollisionsrisiko wurde deshalb auf etwa 10–20 % des Reflektors geschätzt, was etwa 3 % zusätzliches Risiko für die Nachtzieher ergeben würde. Ohne Ausweichbewegungen würden demnach etwa 22 % der durch den Antennenbereich fliegenden Vögel einen Draht touchieren. Zusammen mit Kollisionen an den Halteseilen und an den Masten ergäbe dies 23–25 %. Die «Netto-Fangfläche» der Antenne beträgt deshalb für die angenommenen Vogelgrößen rund 50 000 m².

Buurma & van Gasteren (1989) schätzten, dass etwa 1–2 % oder unter strengerer Annahme 2–6 % der Vögel, welche nachts die Netto-Fangfläche von Hochspannungsleitungen in Holland durchqueren, tatsächlich mit Drähten kollidieren. Da die Sichtverhältnisse im Arava-Tal durchschnittlich viel besser sind als in Holland, nahmen wir die niedrigere Schätzung, nämlich eine Kollisionsrate von 1–2 % an.

Die Durchzugsfrequenz von Vögeln in den untersten 100 m über Grund konnte aufgrund unserer Messungen mit 5000 pro Kilometer Frontbreite in einer durchschnittlichen Zugnacht veranschlagt werden. Bei einer Netto-Fangfläche von 23–25 % ergäbe dies beim Fehlen von Ausweichbewegungen der Vögel 2300 bis 2500 Kollisionen auf 2 km Breite pro

Nacht. Aufgrund von Beobachtungen an Hochspannungsleitungen (siehe oben) wäre damit zu rechnen, dass 1–2 % dieser Vögel einer Kollision nicht ausweichen könnten; dies ergäbe pro Nacht 23–50 Kollisionen. In Holland konnte die Kollisionsrate mit Hilfe von an Hochspannungsleitungen befestigten Plastikspiralen («pig-tails») zusätzlich um 60–90 % reduziert werden (Koops & de Jong 1982, Koops 1987). Mit solchen Präventionsmassnahmen hätte die Kollisionszahl an der Radioantenne vielleicht auf 2–20 pro Nacht reduziert werden können.

2.2. Einfluss elektromagnetischer Wellen auf Vögel

2.2.1. X-Band Radar und Scheinwerfer

Die Routine-Registrierungen von Flugwegen aus dem Arava-Tal wurden im Hinblick auf mögliche Störeffekte des Radargerätes untersucht. Mehr als 1000 unterhalb von 300 m über Grund fliegende Vögel zeigten keine Hinweise auf unterschiedliches Flugverhalten, wenn sie auf den Radar zu, vom Radar weg oder seitlich am Gerät vorbei flogen. Nahe am Radargerät vorbeifliegende Vögel zeigten keine zusätzlichen Flugweg-Unregelmässigkeiten im Vergleich zu weit entfernt passierenden Individuen. Bei einer kleinen Stichprobe von Vögeln wurde der Sender des Radargerätes etwa im 50-Sekunden-Rhythmus ein- und ausgeschaltet. Während der Phase mit ausgeschaltetem Sender wurden die Vögel mit Hilfe eines parallel zur Antenne montierten passiven Infrarotgerätes weiterverfolgt. Beim jeweiligen Einschalten des Senders ergaben sich keine Hinweise auf zusätzliche Unregelmässigkeiten im Flug. Wenn dagegen ein starker Scheinwerfer (6 Lux auf 300 m; 1,5 Lux auf 600 m Distanz) während der Radarverfolgung eingeschaltet wurde, ergaben sich deutliche Ausweichbewegungen der Vögel. Mit diesen Untersuchungen konnten wir zeigen, dass unser X-Band Radar die Flugwege der verfolgten Vögel nicht in erkennbarer Weise beeinflusst, während Licht einen deutlichen Störeffekt hatte (Bruderer et al. 1999).

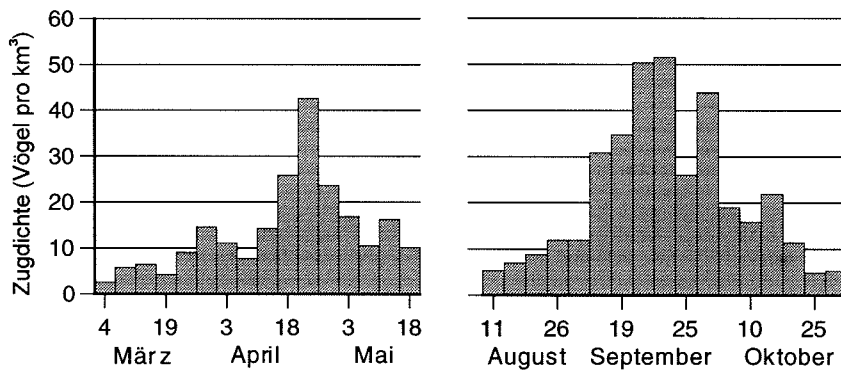


Abb. 5. Saisonaler Verlauf von Frühlings- und Herbstzug im Arava-Tal. Die mittleren Vogeldichten pro Nacht sind über Pentaden gemittelt; auf der Zeitachse ist das Datum angegeben. – *Seasonal pattern of spring and autumn migration; mean densities per night are averaged over 5-day-periods; the numbers on the time scale are dates.*

2.2.2. Einfluss von Radiowellen auf Brieftauben

Im Unterschied zu den Untersuchungen bezüglich Radarwellen konnte in der Schweiz gezeigt werden, dass Brieftauben die Kurzwellen eines Radiosenders fühlen können. Die Anfangsorientierung der Brieftauben wurde nicht sichtbar beeinflusst (Boldt & Bruderer 1994, Bruderer & Boldt 1994, Steiner & Bruderer 1999). Reduzierte Heimkehrgeschwindigkeiten von Tauben, die ohne Erfahrung mit Kurzwellen aufwuchsen, sowie geringe Flughöhen aller Taubengruppen, die unter Kurzwelleneinfluss in die Sendernähe heimflogen, zeigten aber, dass sich die Tauben durch die Radiowellen beeinträchtigt fühlten. Dies wurde bestätigt durch eine generelle Flughemmung bei Tauben, deren Schlag in unmittelbarer Sendernähe stand. Andererseits war die Heimkehrgeschwindigkeit von in Sendernähe aufgewachsenen Jungtauben unter Kurzwelleneinfluss nicht beeinträchtigt, was auf eine gewisse Gewöhnungsfähigkeit der Tauben schliessen lässt (Steiner & Bruderer 1999).

2.3. Zeitlicher Ablauf des Vogelzuges

2.3.1. Intersaisonale und saisonale Variation

Der nächtliche Herbstzug im Süden Israels begann langsam im August und erreichte seinen Höhepunkt Mitte September (Abb. 5). Nach Mitte Oktober klang der Zug rasch ab, da nur wenige Kurzstreckenzieher südlich des Negev überwintern. Der nächtliche Frühlingszug erreichte seinen Höhepunkt Mitte April. Im März war der Zug eher schwach; ob ein leichter Anstieg der Zugintensität gegen Ende März der Norm entspricht oder eine zufällige Eigenheit des Jahres 1992 war, lässt sich aufgrund der vorliegenden Daten nicht entscheiden (Bruderer & Liechti 1995).

Der Durchzug im Frühling machte nur etwa 65 % des Herbstzuges aus, wobei die Frage offen bleibt, ob dieser Unterschied ausser mit der Sterblichkeit während des Zuges und im Winterquartier auch mit Schleifenzug gewisser Arten zu erklären ist (Bruderer 1994b, 1996a, Bruderer & Liechti 1995).

Für den Tagzug sind mit unseren Methoden keine wesentlichen Aussagen möglich. Lediglich beim Wespenbussard *Pernis apivorus* haben wir einen Vergleich zwischen der jahreszeitlichen Verteilung der radarverfolgten Vögel und parallelen optischen Zählungen gewagt (Bruderer et al. 1994). Ausführliche Angaben über den saisonalen Verlauf des Zugs von Se-

gelfliegern finden sich bei Leshem & Yom-Tov (1996) und bei Shirihai & Christie (1982).

2.3.2. Variation von Tag zu Tag

Im mediterranen Raum unterscheidet sich die wetterabhängige Variation des Nachtzuges je nachdem, ob man sich im Mittelmeerklima oder in der Passatwindzone befindet. Der Negev befindet sich am Nordrand der Passatwindzone, wo die Wetterschwankungen relativ gering sind und die Vögel praktisch immer einen Höhenbereich finden können, in dem günstige Rückenwinde herrschen (Bruderer 1994b, Bruderer et al. 1995, Liechti & Bruderer 1998). Die festgestellten Intensitätsschwankungen im Zug dürften eher mit der wetterabhängigen Akkumulation von zugbereiten Vögeln weiter nördlich zusammenhängen als mit dem lokalen Wetter. In Südspanien, das sich im Bereich des Mittelmeerklimas befindet, variiert das Angebot an Winden stärker als in Israel, aber weniger als in Mitteleuropa, was intermediäre Reaktionen auf die Wetterverhältnisse erwarten lässt (Liechti & Bruderer 1998).

2.3.3. Tageszeitliche Variation des Nachtzuges

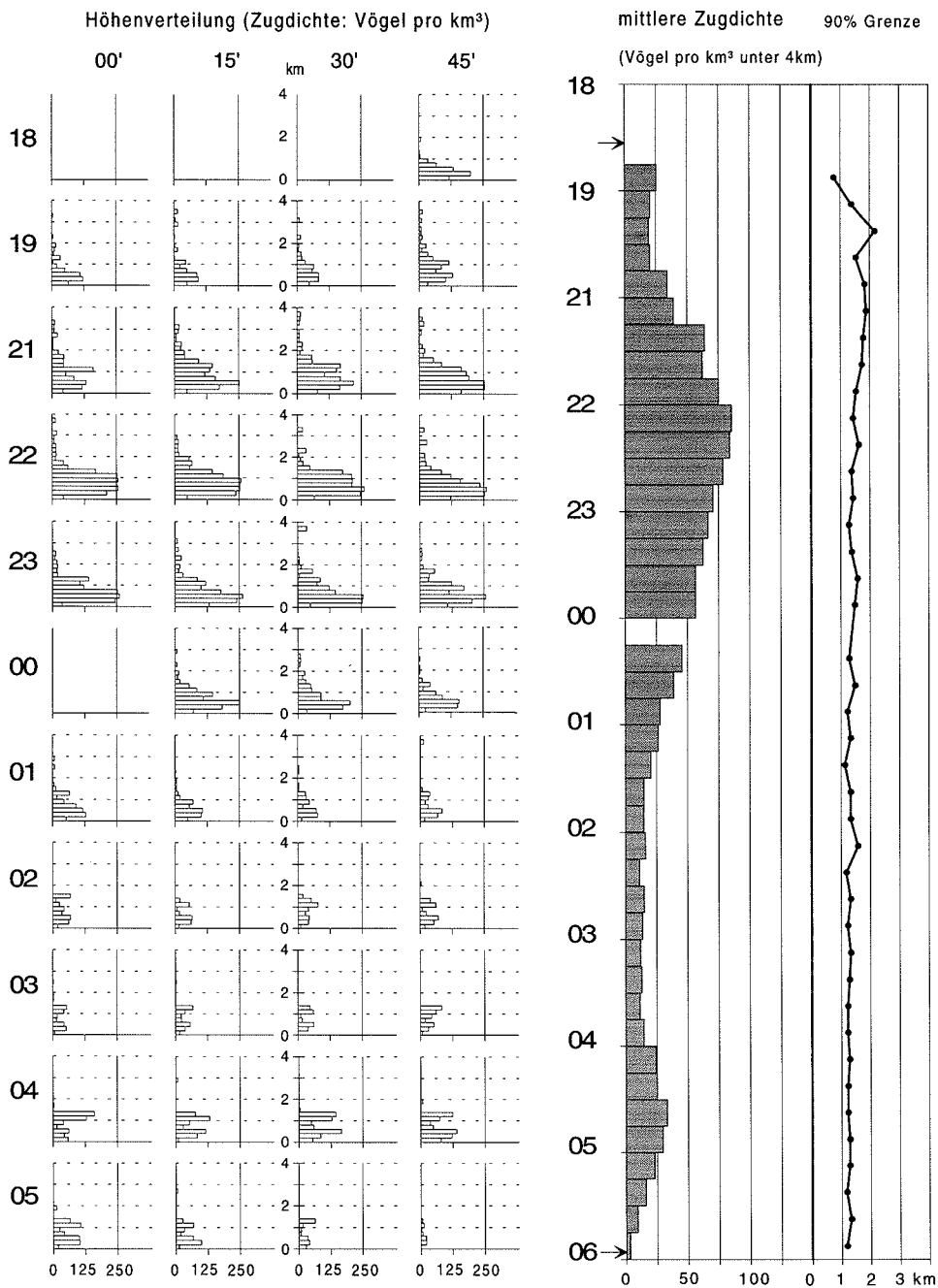
Der Nachtzug begann im Süden Israels mit wenigen Vögeln in der Stunde vor Sonnenuntergang. Etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang, zur Zeit der zivilen Dämmerung (Sonne 6° unter dem Horizont), zeigte sich ein plötzlicher Massenaufbruch von Singvögeln. Im Negev-Hochland (Station Sede Boquer) wurden die maximalen Dichten schon kurz nach der

Aufbruchphase erreicht, da die Umgebung offensichtlich genügend Rastmöglichkeiten bietet. Im Arava-Tal nahmen die Zugdichten langsamer zu; der Zughöhepunkt wurde 2–3 Stunden nach der Dämmerung erreicht. Gegen Mitternacht nahm die Zugdichte bereits etwas ab; die Abnahme beschleunigte sich in der zweiten Nachthälfte; kurz vor Sonnenaufgang hörte der Zug praktisch auf. Wenn fast alle Singvögel landen, bedeutet das, dass sie zumindest die Halbwüsten Israels nicht non-stop überfliegen (Bruderer & Liechti 1995, Bruderer 1996). Zuweilen trat in den letzten Nachtstunden nochmals eine Welle von Zugvögeln auf, die mit grosser Wahrscheinlichkeit auf Vögeln beruht, die abends an der Südküste der Türkei gestartet waren und nach 8 bis 9 Stunden den Negev erreicht hatten (Abb. 6).

Eine sorgfältige Überprüfung der Übergangsphase um Sonnenaufgang anhand von Flugwegregistrierungen zeigte, dass in diesen ariden Gebieten neben einigen früh aufbrechenden Tagziehern (z.B. Schwalben) doch einzelne Nachtzieher vorhanden sein können, die gegen Morgen nicht landen. Es waren jedoch nicht Singvögel, wie die Mehrheit der Nachtzieher, sondern grosse Vögel mit Schlagflug wie etwa Reiher, Sichler, Löffler, Flamingos, Kormorane, Enten, Möwen, Seeschwalben und Watvögel (Bruderer 1994b, 1996). Eine solche Fortsetzung des Nachtzuges fiel oft mit dem Vorkommen starker Rückenwinde zusammen. Liechti & Schaller (1999) konnten für den Frühlingszug zeigen, dass diese Vögel tief hinunter reichende Ausläufer von Jet-Strömungen nutzten und dabei oft Höhen von

Abb. 6. Zugverlauf im Arava-Tal in der Nacht vom 14./15. September 1992, basierend auf viertelstündlichen automatischen Messungen mit dem zweiten Radargerät. Die Säulendiagramme links zeigen die vertikale Verteilung des Zuges in vier Darstellungen pro Stunde (leere Diagramme entsprechen fehlenden Messungen). Die beiden Diagramme rechts zeigen die mittlere Dichte pro Viertelstunde sowie die 90%-Grenze des Zuges; diese erreichte die grösste Höhe kurz nach Zugbeginn (der Pfeil gibt die Zeit der Zivilen Dämmerung an; 18.40 h lokale Winterzeit = UTC + 2 h). Eine wahrscheinlich von der Südküste der Türkei stammende Zugwelle traf in den letzten zwei Stunden vor der Zivilen Dämmerung ein (Pfeil bei 05.55 lokale Winterzeit). – *The course of migration in the Arava Valley during the night of 14/15 September 1992 based on automatic measurements every quarter of an hour with the second radar. The diagrams on the left show the vertical distribution of migration by four bar-diagrams per hour (empty diagrams are lacking measurements). The two diagrams to the right show average densities per quarter of an hour and the 90%-limit of migration, which reached highest levels briefly after the start of migration at civil twilight (indicated by an arrow at 18.40 local winter time = UTC + 2 hrs). A wave of birds probably from the south coast of Turkey arrived during the last two hours before civil twilight (arrow at 05.55 local winter time).*

Arava 14./15. September 1992



2000–7000 m ü.M. und Geschwindigkeiten von weit über 100 km/h erreichten. Erstaunlicherweise gab es auch immer wieder Greifvögel, die bei Sonnenaufgang in grosser Höhe flogen und damit zeigten, dass es auch bei diesen als Tagzieher bekannten Vögeln vorkommt, dass sie die Nacht in ihre Zugaktivität einbeziehen und damit erhöhten Energieverbrauch in Kauf nehmen, um den Zeitaufwand für den Zug zu minimieren (Spaar et al. 1998).

Im Frühling nimmt der Zug im Laufe der Nacht weniger rasch ab als im Herbst. Dies könnte bedeuten, dass die Zugvögel im Herbst die sich nach Süden hin verschlechternden Rastbedingungen am Boden erkennen und vor-

zeitig landen, während sie im Frühling mit zunehmender Verbesserung der Rastmöglichkeiten rechnen können, wenn sie weiter nach Norden fliegen (Bruderer 1994b). Nicht ganz auszuschliessen ist eine weitere Interpretationsmöglichkeit für dieses Phänomen: Die Zugvögel könnten im Frühling unter dem Zeitdruck der Revierbesetzung in den Brutgebieten ihre Flugetappen generell verlängern.

2.3.4. Tagzug

Der Tagzug ist mit unserem Überwachungssystem nur schwer quantifizierbar. Erstens ist die Zahl der Echos gering, weil viele Vögel in

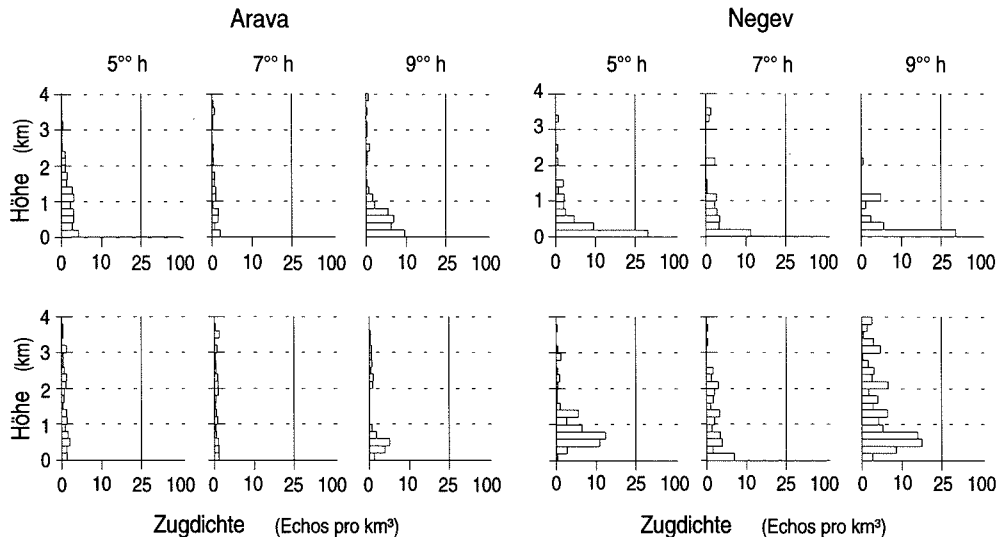


Abb. 7. Mittlere Höhenverteilung des Tagzuges. Drei Messzeiten (lokale Winterzeit = UTC + 2 h) mit gepoolten Daten von September/Oktober 1991 (oben) und April 1992 (unten) für das Arava-Tal und das Negev-Hochland. Die 5-Uhr-Messungen liegen vor der Zivilen Dämmerung und zeigen deshalb das Ende des Nachtzuges. Die 7-Uhr-Messung entspricht einer frühen Phase des Tagzuges und enthält praktisch nur Schlagflieger (vor allem Schwalben und Segler), während in der 9-Uhr-Messung hohe Anteile von Segelfliegern (z.B. Greifvögel und Störche) eingeschlossen sind. Die Zahl der Echos pro km^3 ist nicht vergleichbar mit der Zahl der Vögel pro km^3 im Nachtzug, weil Tagzugechos Vogelschwärme mit wechselnden Individuenzahlen enthalten. – Average altitudinal distribution of diurnal migration. Three measuring times (local winter time = UTC + 2 hrs) with pooled data from September/October 1991 (upper diagrams) and April 1992 (lower diagrams) for Arava (Hazeva) and Negev (Sede Boger). Diurnal migration in the trade wind zone consists mainly of soaring birds (such as raptors and storks) and of aerial hunters (like swallows and swifts). The 5 o'clock measurement is before civil twilight in spring and autumn; it, therefore, contains the final phase of nocturnal migration. The 7 o'clock measurement represents an early phase of diurnal migration comprising only birds using powered flight, while in the 9 o'clock measurement high proportions of soaring migrants are included. The number of echos per km^3 is not comparable to the number of birds/ km^3 at night, because diurnal echoes may comprise flocks of birds with varying numbers of individuals.

Schwärmen fliegen und ein Schwarm nur ein Echo ergibt. Zweitens ist der Tagzug horizontal wesentlich inhomogener verteilt als der Nachtzug. Drittens ist die Schwarmgrösse nicht erfassbar, es sei denn mit zusätzlichen visuellen Beobachtungen. Abb. 7 zeigt (mit den entsprechenden Vorbehalten) die zeitliche und vertikale Verteilung der Echos in den ersten Morgenstunden, gemittelt über die Perioden mit stärkstem Herbst- bzw. Frühlingzug.

Der tageszeitliche Verlauf des Zuges von Segelfliegern wurde deshalb nicht mit der Überwachungs-Methode, sondern aufgrund der Verteilung von Einzelflugwegen beurteilt. Eine ganze Reihe von Arbeiten über den Zug ausgewählter Arten schliesst Graphiken über diesen Verlauf ein und zeigt die mit der Grösse der Segelflieger zunehmende Abhängigkeit von der tageszeitlichen Entwicklung der Thermik. Weissstörche *Ciconia ciconia* flogen erst in grösserer Zahl, als 30 % der Zeit zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang bereits vorbei waren (Liechti et al. 1996); dasselbe galt auch für den Steppenadler *Aquila nipalensis*, während Falkenbussarde *Buteo buteo vulpinus* bereits nach 25 % des Tages in grosser Zahl unterwegs waren (Spaar 1995) und Wespenbussarde *Pernis apivorus*, Weihen *Circus* sp. und vor allem die wenig thermikabhängigen Falken *Falco* sp. und Sperber *Accipiter* sp. zum Teil bereits kurz nach Sonnenaufgang flogen (Bruderer et al. 1994, Spaar & Bruderer 1997, Spaar et al. 1998, Spaar 1999). Bei Weihen liegen auch gute Hinweise auf vereinzelt Nachtzug vor (Spaar & Bruderer 1997); beim Kurzfangsperber wird der Nachtzug auf 5–10 % des Gesamtzuges geschätzt (Spaar et al. 1998).

2.4. Höhenverteilung des Zuges

2.4.1. Höhenverteilung des Nachtzuges

Im Süden Israels ist das Windregime geprägt durch den recht konstanten Nordostpassat unterhalb einer Windscherung im Bereich von 1500–2000 m über Meer. Oberhalb der Windscherung wehen die Winde eher aus W bis SW; man spricht vom Anti-Passat. Aufgrund dieses Windsystems unterscheiden sich die Höhen-

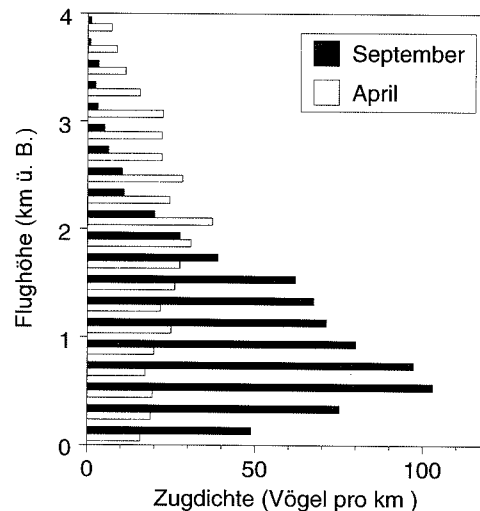


Abb. 8. Höhenverteilung des Nachtzuges um Mitternacht in den Monaten mit stärkstem Frühlings- bzw. Herbstzug. – Height distribution of migration at midnight in April and September (the months with main spring and autumn migration, respectively). Most autumn migrants choose flight altitudes below the windshear of the trade wind system. In spring all migrants have to climb and descend through the north-easterly trade winds to reach the favourable anti-trades above about 1500 m a.s.l. Therefore, spring migration is more homogeneously distributed, but with an increased proportion of migrants high up.

verteilungen im Herbst- und Frühlingzug drastisch. Im Herbst konzentrieren sich die Zugvögel unterhalb der Windscherung und profitieren so in der Regel von Rückenwinden. Im Frühling sind alle Zugvögel gezwungen, durch die Passatströmung aufzusteigen und auch im Landeanflug wieder diese Gegenwinde zu durchqueren. Insgesamt aber tendieren die Vögel im Frühling darauf, über der Windscherung zu fliegen, um die dort herrschenden Rückenwinde zu nutzen (Abb. 8; Bruderer 1994b, Bruderer & Liechti 1995, Bruderer et al. 1995b).

Die nächtlich ziehenden Vögel fliegen also vor allem in den Höhen mit günstigen Winden. Vergleicht man die Höhenverteilung über dem Negev-Hochland und über dem Arava-Tal, stellt man fest, dass die grössten Zugdichten an

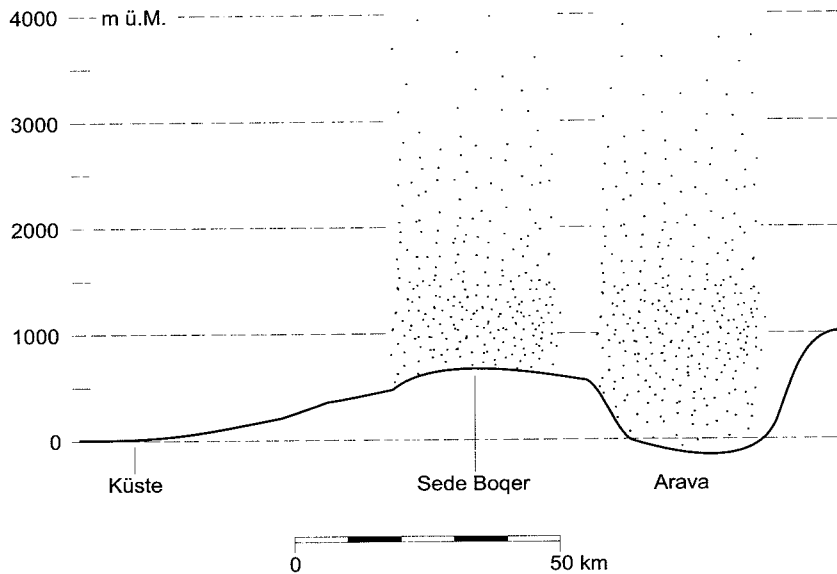


Abb. 9. Mittlere Höhenverteilung des nächtlichen Herbstzuges über dem Negev-Hochland und dem Arava-Tal. – *Height distribution of nocturnal migration over the Negev Highlands and the Arava Valley. Note that altitudes above ground differ between sites, while altitudes above sea level are nearly equal due to similar altitudinal wind profiles (birds choosing the altitudes with best tailwind conditions).*

den beiden Orten ungefähr auf gleicher Höhe über Meer erreicht werden, aber in sehr unterschiedlicher Höhe über Boden. Da alle tief fliegenden Vögel durch die Höhen des Negev zum Aufsteigen gezwungen werden, ist zudem der Zug über dem Negev im Bereich unter 1000 m ü.B. sehr konzentriert (Abb. 9; Bruderer 1992, Bruderer & Liehti 1995).

Aufgrund der frappanten Ähnlichkeit der Höhenverteilung und der vertikalen Windprofile wurde ein Modell entwickelt, das – basierend auf am Ort durchgeführten Radiosonden – die Höhenverteilung der Vögel mit den Höhenprofilen von Druck, Luftfeuchtigkeit, Sättigungsdefizit, Temperatur und verschiedenen Windmassen verglich. Ausser den Messwerten wurden auch deren Quadrate sowie deren Differenzen zwischen Höhenintervallen von 200 m in die Berechnungen einbezogen. Multiple Regressionen zeigten, dass letztlich nur die Rückenwindkomponente einen wesentlichen Einfluss auf die Höhenverteilung hatte. Das war umso erstaunlicher, als besonders im

August die Temperaturen im Mittel erst auf Höhen über 1500 m unter 20 °C sinken. Temperaturen über 20 °C werden von manchen Physiologen als prohibitiv für Langstreckenflüge betrachtet, hatten aber hier keinen Einfluss auf die Höhenverteilung, ebenso wenig wie die Luftfeuchtigkeit bzw. das Sättigungsdefizit. Simulationen mit 1000 Vögeln, die vom Boden aufsteigen und jeweils benachbarte Höhenintervalle von 200 m miteinander vergleichen und schliesslich aufgrund des Höhenprofils des Rückenwindes entscheiden, wie hoch sie fliegen wollen, führten zu einem Modell, das im Herbst (mit 50 Iterationen) durchschnittlich mehr als 60 %, im Frühling (mit 100 Iterationen) über 50 % der Variation in der Höhenverteilung erklärte (Bruderer et al. 1995). Liehti et al. (im Druck) benutzten denselben Datensatz, um zu prüfen, ob physiologische Modelle, welche die Reichweite eines Fluges aufgrund des mechanischen Energieverbrauchs mit und ohne Berücksichtigung der Dehydration schätzen, zu einer genaueren Vor-

aussage führen als das einfache Rückenwindmodell. Die Analyse zeigte, dass auch unter den extremen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen im Arava-Tal in erster Linie der Energieverbrauch und nicht Einschränkungen durch Wasserreserven das Zugverhalten bestimmen.

2.4.2. Höhenverteilung der Segelflieger

Bei Segelfliegern sind es vor allem die vertikalen Luftbewegungen während des Tages, welche die Zughöhe bestimmen. Die obere Grenze der Thermikschicht erreichte im Arava-Tal in seltenen Fällen Höhen von 3500 m ü.B. und lag in der Regel zwischen 1500 und 2000 m ü.B. Die 90-%-Grenze des Greifvogelzuges (ermittelt aufgrund der Flugwege) lag in der Regel deutlich tiefer, im Tagesmittel auf Höhen von 500–1200 m über Boden. Median und 90-%-Grenze der Höhenverteilung stiegen im Arava-Tal bei typischen Segelfliegern (*Aquila*, *Buteo*, *Pernis*, *Circus*) bis in den späten Nachmittag hinein an und sanken gegen Abend nur langsam ab. Der Median lag am Nachmittag durchschnittlich auf 600–700 m ü.B., die 90-%-Grenze zwischen 1200 und 1400 m. Die Steiggeschwindigkeit betrug im Mittel 2 m/s und erreichte ihren Höhepunkt um die Mittagszeit (Spaar 1999). Im Gegensatz zum Nachtzug zeigt die Höhenverteilung der Segelflieger keine Abhängigkeit vom Passatwind-System; die Zughöhen waren im Herbst infolge besserer Thermik zum Teil sogar grösser als im Frühling; z.B. bei Weihen (Spaar & Bruderer 1997) und bei Störchen (Liechti et al. 1996).

Falken und Sperber sind aufgrund ihrer Befähigung zum Schlagflug kaum thermikabhängig, auch wenn sie vorhandene Thermik gerne nutzen. Ihre Höhenverteilung zeigte keinen eindeutigen Tagesverlauf; tagsüber flogen sie durchschnittlich tiefer als die eigentlichen Segelflieger (Spaar 1999). Beim Kurzfangsperber *Accipiter brevipes* wurden die grössten Flughöhen nachts erreicht; im Laufe des Vormittags sanken deshalb die Flughöhen kontinuierlich. Der Median der Flughöhen lag bei den nachts verfolgten Individuen auf 630 m ü.B., die 90-%-Grenze auf 1860 m, die höchst-

ten Individuen flogen auf 2000–3000 m (Spaar et al. 1998).

Die starke Thermikabhängigkeit der Segelflieger liess die Idee aufkommen, auch die Steiggeschwindigkeiten und Flughöhen dieser Tagzieher aufgrund der Wetterbedingungen vorauszusagen. Das für den technischen Segelflug entwickelte Prognose-Programm ALP-THERM (Liechti & Neininger 1994, Liechti & Lorenzen 1998) sagt aufgrund der Mitternachts-Radiosonde voraus, wie sich am kommenden Tag die Stärke und die vertikale Ausdehnung der Konvektion entwickeln wird. Die maximale Flughöhe der Greifvögel zeigte eine gute Korrelation mit der vorausgesagten Konvektionshöhe, und auch der tageszeitliche Verlauf der Steiggeschwindigkeiten stimmte gut mit der Prognose überein. Wir hoffen, dass diese Voraussagen zur Vermeidung von Kollisionen zwischen Greifvögeln und Flugzeugen in Israel beitragen können (Spaar et al. im Druck).

2.5. Richtungen und Orientierungsverhalten

2.5.1. Nachtzug

Die Flugrichtungen der nachziehenden Vögel waren im Herbst an beiden Standorten eng konzentriert um 190° (Abb. 10). Aufgrund der mehrheitlich aus NNE wehenden Winde im Arava-Tal wichen die Eigenrichtungen (Richtung der Körperachse) nicht wesentlich von den Flugrichtungen (Richtung über Grund) ab. Über dem Negev wehten die Winde eher aus NW; die Eigenrichtungen wichen deshalb mit 201° etwas westwärts von den Flugrichtungen ab ($p < 0,01$). Der Frühlingzug lief im Arava-Tal mit 4° ziemlich genau entgegengesetzt zum Herbstzug; die Streuung war allerdings leicht erhöht, und die Eigenrichtungen waren etwas gegen W abgedreht (355°), weil die Winde zum Teil aus NW wehten. Über dem Negev-Hochland waren die nordwestlichen Winde im Frühling noch etwas stärker ausgeprägt als im Herbst. Die Eigenrichtungen der Vögel waren relativ gut konzentriert um einen Mittelwert von 354° und damit praktisch identisch mit denen über dem Arava-Tal. Die Flugrichtungen im Negev wichen dagegen statis-

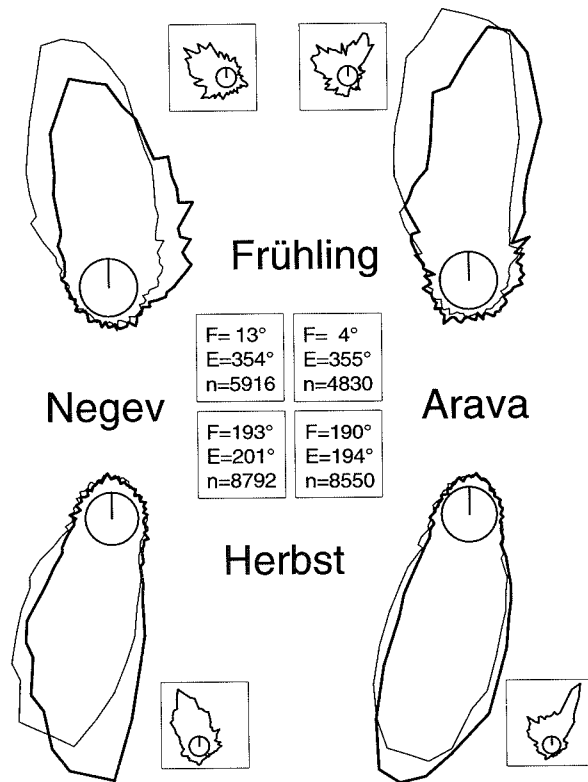


Abb. 10. Verteilung von Flugrichtungen (dicke Linien) und Eigenrichtungen (dünne Linien) im nächtlichen Herbst- und Frühlingszug über Negev und Arava-Tal. Die den Flugwegen entsprechenden Winde sind innerhalb der kleinen Quadrate angegeben. F = mittlere Flugrichtung, E = mittlere Eigenrichtung. (Nach Liechti & Bruderer, Isr. J. Zool. 41: 504, 1995). – *Distribution of tracks (thick line), headings (thin line) in nocturnal autumn and spring migration above the Arava Valley and the Negev Highlands. The wind directions corresponding to the single tracks are indicated inside the small squares. F = mean track, E = mean heading. (According to Liechti & Bruderer, Isr. J. Zool, 41: 504, 1995).*

tisch signifikant von denen im Arava-Tal ab. Sie zeigten einen Modalwert bei 350°, daneben aber erhebliche Zuganteile, die mit den über etwa 1800 m ü.M. recht starken Westwinden nach Nordosten verdriftet wurden (Liechti & Bruderer 1995).

2.5.2. Umkehrzug

Der relativ grosse und mit zunehmender Windkomponente entgegen der normalen Zugrichtung steigende Anteil an nicht saisongemässen Zugrichtungen (Liechti & Bruderer 1995) veranlasste eine Detailstudie über Umkehrzug (I. Steiner unpubl. Mskr.). Im Herbst machte der Umkehrzug im Arava-Tal etwa 7 % und im Negev etwa 10 % des Gesamtzuges

aus, während im Frühling in beiden Gebieten nur etwa 4 % in südliche Richtungen zogen. Im Frühling waren Wasservögel im Umkehrzug in beiden Gebieten überproportional vertreten, während im Herbst die kleinen Singvögel etwas zahlreicher waren als im Normalzug. Im Negev bestand in beiden Jahreszeiten eine Tendenz zu verstärktem Umkehrzug zu Beginn und am Ende der Nacht, während diese Randzeiten im Arava-Tal nur während des Frühlingszuges bevorzugt waren. Die Hauptmasse des Umkehrzuges erfolgte im Herbst über der Windscherung, d.h. im Anti-Passat. Die Höhenverteilung des Umkehrzuges im Frühling entsprach an beiden Orten recht gut der Höhenverteilung des normalen Herbstzuges und war somit auf die Höhen unter der Windscherung

beschränkt. Umkehrziehende Vögel fliegen also auch bevorzugt mit dem Wind.

2.5.3. Richtungsverhalten der Segelflieger

Der Greifvogelzug verlief im Herbst insgesamt genau so konzentriert wie der nächtliche Singvogelzug Richtung SSW (Abb. 11). Dank wenig variablen NNE-Winden unterschieden sich Flug- und Eigenrichtungen kaum (204° bzw. 208° im Mittel). Der Frühlingszug verlief im Mittel entgegen dem Herbstzug (mittlere Eigenrichtung = 28°); die Flugrichtungen waren aber aufgrund häufiger Winde aus NW zum Teil etwas gegen NE abgedreht (Mittelwert = 36°); beide Richtungsverteilungen zeigten aufgrund der variablen Winde relativ starke Streuung (Spaar 1999). Dass der Frühlingszug unter dem Einfluss variabler Winde stärkere Richtungsstreuung aufweist und die Flugrichtungen durch eher westliche Winde meist etwa um 10° im Uhrzeigersinn von den Eigenrichtungen abweichen, sind generelle Erscheinungen, die im Folgenden nicht mehr erwähnt werden.

Detailuntersuchungen an einzelnen Arten zeigten einerseits artspezifische Unterschiede und gaben andererseits Auskunft über Reaktionen auf Windeinfluss. Deutliche Abweichungen vom Gesamtbild zeigten die Steppenadler (Spaar & Bruderer 1996), die im Herbst aus NE kommend so weit im Süden über Israel hinweg flogen, dass sie das Gebiet der Radarstationen nicht tangierten; im Frühling überquerten sie die Radarstationen mit ENE-Richtungen (Eigenrichtungen um 65° , Flugrichtungen um 75°). Weissstörche wichen insofern vom durchschnittlichen Greifvogelzug ab, als ihre Zugrichtungen im Herbst etwa 10° westlicher und im Frühling stärker gegen N ausgerichtet waren (Eigenrichtung um 349° streuend, Flugrichtungen um 3°) (Liechti et al. 1996). Während die Richtungen von Rohrweihen *Circus aeruginosus* im Frühling mit 11° im Arava-Tal und 5° im Negev und im Herbst mit 191° bzw. 200° etwas näher bei der N–S-Achse lagen als im Gesamtzug, entsprachen die Steppen- und Wiesenweihen *C. pygargus/macrourus* mit 47° und 25° im Frühling und 206° bzw. 208° recht gut dem Gesamtzug

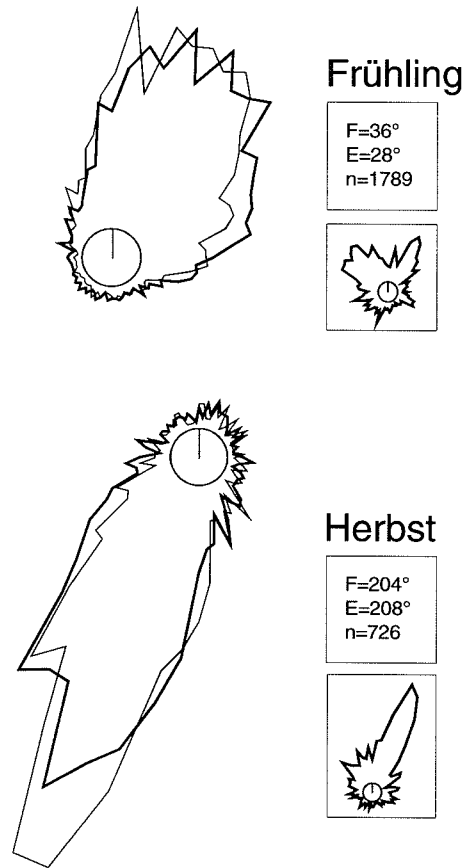


Abb. 11. Gleitrichtungen von Greifvögeln und entsprechende Windrichtungen (analog Abb. 10) im Herbst und Frühling über dem Arava-Tal (Verändert nach Spaar 1999, in Proc. Int. Ornithol. Congr., Durban, S. 1859). – *Gliding directions of raptors and corresponding wind directions (as in Fig. 10). (Adapted from Spaar 1999, in Proc. Int. Ornithol. Congr., Durban, p. 1859).*

(Spaar & Bruderer 1997). Auch das Richtungspektrum der Wespenbussarde entsprach im Frühling dem durchschnittlichen Verhalten der Greifvögel, während der Herbstzug etwas westlicher ausgerichtet war (Bruderer et al. 1994). Bei keiner Art waren die Flug- und Eigenrichtungen (Mittel etwa 204°) so eng konzentriert wie beim Kurzfangsperber im Herbst. Tagziehende Kurzfangsperber zogen

im Mittel genau umgekehrt zur Herbstzugrichtung, zeigten aber aufgrund variabler Windestärkere Streuung (Spaar et al. 1998). Am Beispiel des Falkenbussards konnte gezeigt werden, dass Greifvögel nicht nur ihre Gleitflugphasen nutzen, um eine Teilkompensation von Seitenwind zu erreichen, sondern dies bis zu einem gewissen Grad auch während dem Aufsteigen in der Thermik versuchen (Spaar & Bruderer 1997a).

2.6. Flugverhalten

2.6.1. Horizontal- und Vertikalgeschwindigkeiten im Nachtzug

Die mittlere Fluggeschwindigkeit aller über dem Arava-Tal verfolgten Nachtzieher betrug 13,8 m/s (rund 50 km/h) im Herbst und 12,4 m/s (rund 45 km/h) im Frühling. Im Herbst profitierten die meisten Vögel von der Unterstützung durch die nördlichen Passatwinde, während im Frühling nur diejenigen Vögel Windunterstützung genossen, die über die Windscherung aufstiegen. Aufgrund dieser unterschiedlichen Windverhältnisse ergab sich eine starke Streuung der Fluggeschwindigkeiten im Frühling. Die berechneten Eigengeschwindigkeiten betrugen 11,2 m/s (gut 40 km/h) im Herbst und 11,5 m/s (gut 41 km/h) im Frühling; dies zeigt, dass Vögel dazu tendieren, einen Teil der Windwirkung durch Variation der Eigengeschwindigkeit auszugleichen. Vögel mit kontinuierlichen Flügelschlägen (vor allem Wat- und Wasservögel) wiesen im Frühling und im Herbst Eigengeschwindigkeiten auf, die durchschnittlich um 1–2 m/s höher lagen als diejenigen der intermittierend schlagenden Singvögel (Liechti & Bruderer 1995; für Vergleiche mit Geschwindigkeiten aus anderen Regionen siehe Bruderer 1997b).

Die erstaunliche Entdeckung bezüglich Vertikalgeschwindigkeiten war, dass während der ganzen Nacht sinkende und steigende Vögel in ähnlichen Proportionen vorkamen: gut 20 % im Bereich von $-0,1$ bis $+0,1$ m/s, etwa 50 % zwischen $-0,1$ und $-0,5$ m/s bzw. $+0,1$ und $+0,5$ m/s und knapp 30 % im Bereich unter $-0,5$ bzw. über $+0,5$ m/s. Lediglich in der ersten Stunde nach Sonnenuntergang war ein

deutliches Übergewicht an steigenden Vögeln zu verzeichnen; dies mit besonderer Deutlichkeit im Frühling, wo über 50 % der kurz nach der Dämmerung aufsteigenden Vögel Steiggeschwindigkeiten im Bereich von 0,5–4 m/s aufwiesen (Bruderer et al. 1995).

2.6.2. Fluggeschwindigkeiten identifizierter Arten

Mit dem Studium der Fluggeschwindigkeiten identifizierter Vögel (über 50 % davon aus Israel) können die bisher mehrheitlich auf ungenauen Messungen ohne Berücksichtigung des Windes beruhenden Angaben in der Literatur durch verlässliche Angaben für weit über 100 Arten ersetzt werden. Die Messungen zeigen, dass gängige aerodynamische Modelle die Eigengeschwindigkeiten von Kleinvögeln unterschätzen (weil die Modelle den intermittierenden Flug nicht berücksichtigen), während die Geschwindigkeiten grosser Vögel überschätzt werden (vermutlich weil diese zunehmend auf Geschwindigkeiten minimaler Leistung eingeschränkt werden) (Bruderer & Boldt im Druck). Eine entsprechende Analyse der Flügelschlagmuster ist im Gang.

Neben vielen Messungen über Geschwindigkeiten im Normalflug konnten in Israel auch Sturzflug-Geschwindigkeiten von Wüstenfalken *Falco peregrinoides* gemessen werden, die mit maximal 150 bzw. 158 km/h nahe an die Maximalwerte des Wanderfalken *Falco peregrinus* von 184 km/h herankamen (Peter & Kestenholz 1998).

2.6.3. Flugoptimierung bei Segelfliegern

Ein Vergleich der Flugstrategien verschiedener Greifvögel (Spaar 1997) zeigte Folgendes: (1) Die Steiggeschwindigkeiten verschiedener Arten in der Thermik unterscheiden sich nicht; d.h. dass vor allem die Stärke der Aufwinde und nicht morphologische Eigenheiten der Vögel über die Steiggeschwindigkeit entscheidet. (2) In den Gleitphasen zwischen dem Kreisen in Thermikschläuchen ist die Eigengeschwindigkeit positiv und der Gleitwinkel negativ mit dem durchschnittlichen Körpergewicht der Arten korreliert. Schwerere Arten gleiten rascher

und mit kleineren Gleitwinkeln als leichte Arten. (3) Im kombinierten Segel- und Gleitflug ist die Reisegeschwindigkeit positiv mit dem Körpergewicht korreliert, offensichtlich wegen der hohen Eigengeschwindigkeiten grosser Arten in den Gleitphasen. (4) Adler und Bussarde nutzen den Gleit-Segelflug in 95 % der Beobachtungszeit; einzelne Adler zeigen auch geradliniges Gleiten in grossräumigen Aufwinden, während bei kleineren Arten (Weihen, Sperber, Falken) Schlagflug zunehmende Bedeutung erhält. Schwarzmilan und Rohrweihe zeigen intermediäres Flugverhalten zwischen den beiden Gruppen (Spaar 1997).

Im Gleit-Segelflug maximieren die meisten Arten die Reisegeschwindigkeit, indem sie Gleitgeschwindigkeiten einhalten, die positiv mit der Steiggeschwindigkeit in der verfügbaren Thermik korreliert sind. Diese Messungen bestätigen Voraussagen aufgrund der aerodynamischen Theorie. In den Gleitphasen nimmt die Eigengeschwindigkeit mit zunehmender Rückenwindkomponente ab, was den Vögeln ermöglicht, die Gleitphasen mit geringen Gleitwinkeln auszudehnen und damit die Chance für das Auffinden starker Thermik zu erhöhen (Spaar 1999).

3. Diskussion

Bedeutung der Ergebnisse im Hinblick auf die Wüstenüberquerung

Unsere Vogelzugstudien in Israel ergaben mit über 40 000 Flugwegen radarverfolgter Vögel und rund 1900 quantitativen Messungen ein einzigartiges Datenmaterial zum generellen Zug- und Flugverhalten. Zusammen mit entsprechenden Daten aus anderen Regionen ergibt sich die Möglichkeit zur Analyse von Flugverhalten und Zugstrategien unter extrem variierenden Umweltbedingungen. Die besondere Bedeutung der Daten aus Israel liegt aber in den daraus resultierenden Erkenntnissen zum Vogelzug über grosse ökologische Barrieren, speziell zur Beurteilung des Vogelzuges am Nordrand der Passatwind-Zone und damit im nördlichen Randbereich des saharo-arabischen Wüstengürtels.

Der Durchzug in Mitteleuropa erreicht schon im August recht hohe Intensitäten, bleibt von Anfang September bis Mitte Oktober trotz starken Schwankungen auf relativ hohem Niveau und nimmt erst gegen Ende Oktober deutlich ab (Baumgartner 1997). Demgegenüber ist der Zug der Langstreckenzieher vom Mittelmeerraum nach Afrika im August noch schwach und erfolgt sehr konzentriert im September. Dies gilt nicht nur für Israel, sondern auch für Südspanien (Bruderer & Liechti 1999). Während der Zug in Israel im Oktober rasch abklingt, tritt in Südspanien in der zweiten Oktoberhälfte erheblicher Zug von Kurzstreckenziehern auf. Diese Kurzstreckenzieher fehlen im südlichen Israel weitgehend, da die Überwinterungsmöglichkeiten im NE Afrikas bedeutend stärker eingeschränkt sind als in den Hochländern und Küstengebieten des Maghreb. In Israel konzentriert sich auch der Durchzug im Frühling vor allem auf den April, womit die Phänologie des Herbstzuges eine gewisse Bestätigung findet. Ähnlich wie in Israel ist auch in Südspanien der Frühlingszug schwächer als der Herbstzug; die Differenz ist aber nur etwa halb so gross (Bruderer & Liechti 1999), was darauf hindeutet, dass in Israel nicht nur Mortalität, sondern möglicherweise auch eine erhöhte Konzentration des Herbstzuges im Bereich der überwachten Gebiete im Spiel sein könnte. Dass saisonal unterschiedlicher Durchzug vorkommt, zeigen verschiedene Segelflieger; bei diesen ist allerdings der Frühlingszug stärker als der Herbstzug, extrem beim Steppenadler, der im Herbst ganz fehlt (Kap. 2.5.3), deutlich auch beim Wespenbusard zu sehen (Bruderer et al. 1994) und beim Weissstorch auch durch unterschiedliche Zugachsen manifestiert (Liechti et al. 1996).

Die Intensitätsschwankungen des Zuges von Tag zu Tag sind im Süden Israels wesentlich geringer als in Mitteleuropa; es gibt praktisch keine Nächte ohne Zug, während der Zug in Mitteleuropa vor allem aufgrund von Niederschlägen zuweilen über mehrere Tage völlig zum Erliegen kommen kann, um dann aber bei einer Wetterbesserung umso intensiver einzusetzen (Baumgartner 1997). Die Strategie «nutze jede Nacht zum Ziehen, sobald arides Gebiet erreicht ist» wird dadurch erleichtert, dass

praktisch immer in irgendeiner Höhe günstige Winde herrschen (Liechti & Bruderer 1998); die notwendige Zusatzstrategie heisst demnach «suche die Höhe mit dem besten Wind!». Die über dem ganzen Wüstengürtel ähnlich günstigen Winde ermöglichen es den Vögeln im Normalfall, mit den verfügbaren Energiereserven die Sahara zu überqueren. Da die Vögel gemäss unseren Modellrechnungen für die Wahl der Zughöhe in erster Linie den Wind berücksichtigen und kaum auf Temperatur und Feuchte reagieren, scheint es, dass die Reichweite der Vögel nicht primär durch Dehydration limitiert ist (Liechti et al. im Druck).

Die Frage, ob die insektenfressenden Langstreckenzieher bei der Sahara-Überquerung non-stop fliegen oder den aus den gemässigten Breiten bekannten Rhythmus von nächtlichem Flug und Rast während des Tages beibehalten, ist nach wie vor offen. Wir können jetzt aber festhalten, dass von den über die Halbwüsten des Negev ziehenden Singvögeln der Zughrhythmus beibehalten wird. Ausnahmen gibt es – quantitativ unbedeutend – unter grossen, an Feuchtgebiete gebundenen Arten, die bei günstigen Windbedingungen vom Nachtzug in den Tagzug übergehen (Bruderer 1994, Liechti & Schaller im Druck). Umgekehrt gibt es Tagzieher, die ihre Zugaktivität – offenbar zur Minimierung der Gesamtzugzeit – auf die Nacht ausdehnen, wie der Kurzfangsperber und vermutlich auch einzelne Weihen (Spaar et al. 1998). Neue Nachweise von Nachtzug bei Weihen liegen aus dem Frühlingszug in Spanien vor (Meyer 1999). Ebenfalls aus Spanien gibt es Belege für nächtliche Meeresüberquerungen von Schwalben (L. Bruderer 1999).

Unterschiede in der nächtlichen Dauer des Herbst- und Frühlingszuges deuten darauf hin, dass im tageszeitlichen Rhythmus des Zuges eine gewisse Flexibilität vorhanden ist, die in Abhängigkeit von Umweltbedingungen genutzt wird. In Mitteleuropa ist solche Flexibilität gefragt als Antwort auf kurzfristige Änderungen der Wetterbedingungen; in den Halbwüsten Israels scheinen die Vögel entweder auf die sich im Rahmen des Überfluges graduell ändernde Vegetationsdecke zu reagieren (im Herbst durch vorzeitige Landung, im Früh-

ling durch Verlängerung der Zugetappe) oder sie fliegen im Frühling generell längere Etappen, um rascher im Brutgebiet einzutreffen.

Der Zug der Segelflieger ist in den Wüstengebieten begünstigt durch täglich gute Thermikbedingungen. Die an die Steigraten angepassten Gleitgeschwindigkeiten sind deutlich höher als in Mitteleuropa (Spaar 1999, Bruderer & Boldt im Druck), die Reisegeschwindigkeit entsprechend hoch. Trotzdem scheint es sich für kleinere Greifvogelarten zu lohnen, unter gewissen Bedingungen zusätzliche Energie für nächtlichen Schlagflug einzusetzen und damit die Wüste möglichst rasch zu überqueren (Spaar et al. 1998).

Dank. Unser Dank gilt vorab all den vielen freiwilligen Mitarbeitern, die unter nicht immer einfachen Bedingungen beim Sammeln der Daten mitgeholfen haben. Die Schweizerische Armee stellte uns die Radargeräte zur Verfügung, das israelische Kommunikations-Ministerium die finanziellen Mittel. Die israelische Meteo-Gruppe NIMBUS führte einen Teil der Radiosondagen aus; während einer Saison konnten wir die Sondagen mit einem vom Paul Scherrer Institut ausgeliehenen Empfangsgerät selbst durchführen. In unsern Dank schliessen wir insbesondere auch unsere Partnerinnen ein, die nicht nur monatelange Auslandsabwesenheiten, sondern auch häufige Nicht-Verfügbarkeit wegen Auswertarbeiten geduldig ertrugen. Gabriele Hilke Peter danken wir für die Übersetzung des Résumés.

Zusammenfassung, Résumé, Summary

(1) Eine vom Israelischen Kommunikations-Ministerium in Auftrag gegebene Umweltverträglichkeitsprüfung über die Gefahren einer grossen Radio-Antenne für ziehende Vögel bot die Möglichkeit zu intensiven Studien über den Vogelzug im Süden Israels. Ein Team der Schweizerischen Vogelwarte untersuchte mit je einer Radarstation im Negev-Hochland und am geplanten Standort der Radio-Anlage im Arava-Tal die zeitliche und räumliche Verteilung des Vogelzuges sowie das Fluverhalten der ziehenden Vögel. Die vorliegende Arbeit vermittelt eine Übersicht über die bisher erzielten Ergebnisse.

(2) Im methodischen Bereich brachte das Israel-Projekt wesentliche Fortschritte in der quantitativen Registrierung des Zuges, in der gegenseitigen Eichung von Mond-, Infrarot- und Radarbeobachtungen und im Beweis, dass unser Radar – im Gegensatz zu gewissen Radiowellen und Lichtstrahlen – das Verhalten der Zugvögel nicht in erkennbarer Weise beeinflusst.

(3) Die im Gutachten an die israelische Regierung verwendete Methode zur Berechnung des Kollisionsrisikos für nächtlich ziehende Vögel an einer 2 km breiten und durchschnittlich 100 m hohen Antennenanlage wird erörtert.

(4) Saisonal ist der Zug im Süden Israels stärker auf die Monate April bzw. September konzentriert als in mediterranen und gemässigten Breiten, die Variation von Tag zu Tag ist deutlich geringer.

(5) Insektenfressende Langstreckenzieher behalten in den ariden Gebieten Israels den Rhythmus von nächtlichem Flug und Rast während des Tages bei, kürzen aber die nächtliche Flugdauer ab, wenn sie südwärts gegen die Sahara ziehen, und fliegen längere Etappen, wenn sie nordwärts ziehen.

(6) Im Gegensatz zu den nachziehenden Singvögeln zeigen einzelne grössere Vögel Tendenzen, Tag und Nacht für den Zug zu nutzen: Einzelne grosse Feuchtgebietsbewohner zogen im Frühling unter günstigen Windbedingungen am Morgen weiter.

(7) Extreme Segelflieger passen ihren Flugrhythmus dem Tagesgang der Konvektion an. Kleine Greifvogelarten, die auch zu Schlagflug befähigt sind, können die Aktivitätszeit ausdehnen, einzelne nutzen sogar die Nacht zur raschen Wüstenüberquerung.

(8) Die Höhenverteilung des Nachtzuges ist geprägt durch das Passatwind-System. Der Herbstzug erfolgt im Passat unter der auf 1500–2000 m befindlichen Windscherung. Im Frühling suchen die Zugvögel den Anti-Passat über der Windscherung. Die Zughöhe richtet sich nicht nach der Höhe über Grund, sondern aufgrund der Windverteilung eher nach der Höhe über Meer.

(9) Die Höhenverteilung des Nachtzuges lässt sich am besten aufgrund der Windverteilung vorhersagen (50–60 % erklärte Varianz). Andere Wetterfaktoren erwiesen sich als vernachlässigbar.

(10) Die Höhenverteilung und Steigrate der Segelflieger wird durch die Konvektion bestimmt, die sich mit Hilfe des Programms ALPHERM aufgrund der Mitternachts-Radiosonde voraussagen lässt.

(11) Die Zugrichtungen streuen in Süd-Israel aufgrund konstanterer und günstigerer Winde sowohl tagsüber wie auch nachts weniger als in Mitteleuropa. Etwas stärker variierende und ungünstigere Winde führen im Frühling (vor allem tagsüber) zu etwas breiterer Streuung und leichter Verdriftung gegen E.

(12) Umkehrzug ist im Frühling mit 4 % (gegen die Sahara) etwa halb so häufig wie im Herbst (Richtung mediterrane Zone) und ist konzentriert auf die Höhen mit Winden entgegen der Hauptzugrichtung.

(13) Die mittlere Flugeschwindigkeit und Eigeneschwindigkeit betrug im Herbst 13,8 m/s bzw. 11,2 m/s, im Frühling 12,4 m/s bzw. 11,5 m/s, was einerseits zeigt, dass die Vögel im Herbst etwas stärker durch Rückenwinde begünstigt waren, andererseits zeigt es, dass die Windwirkung zum Teil durch Variation der Eigenleistung kompensiert wurde.

(14) Geschwindigkeitsmessungen von über 100 identifizierten Arten zeigen, dass gängige aerodynamische Modelle für Kleinvögel zu niedrige und für

grosse Vögel zu hohe Optimalgeschwindigkeiten postulieren.

(15) Segelflieger folgen mit ihrer Flugoptimierung recht gut den theoretischen Vorhersagen, indem sie durch Anpassung der Gleitgeschwindigkeit an die in der Thermik erreichte Steiggeschwindigkeit die Reisegeschwindigkeit (cross-country speed) maximieren.

(16) Die Bedeutung der Resultate im Hinblick auf die Wüstenüberquerung wird diskutiert.

Tracking radar studies on bird migration in southern Israel

(1) An environmental impact study on behalf of the Israel Ministry of Communication, regarding the potential danger of a large radio antenna for migrating birds, offered the possibility for an intensive study on bird migration in southern Israel. A team of the Swiss Ornithological Institute installed two radar stations, one on the Negev Highlands another at the site of the planned radio station in the Arava Valley to study the temporal and spatial pattern of bird migration as well as the flight behaviour of the passage migrants. The present paper provides a review of the achievements up to now.

(2) Methodological progress was achieved mainly with respect to (a) the quantitative recording of migratory intensity and height distribution, (b) the cross-calibration of infrared-, radar-, and moon-watch-observations, (c) the evidence that our radar – in contrast to light-beams and some radio waves – does not influence the behaviour of migrating birds in a recognizable manner.

(3) The method to calculate the collision risk for nocturnal bird migrants, used in an environmental impact study on potential effects of a large antenna system (2 km long and 100 m high on average) – up to now only available in the report to the Israeli government – is presented.

(4) Seasonally, migration in southern Israel is more concentrated on the months April and September than at Mediterranean and temperate latitudes. Day-to-day variation is considerably reduced.

(5) Insectivorous long-distance migrants maintain their normal rhythm of nocturnal flight and diurnal rest in the arid areas of Israel. They reduce, however, the duration of their nocturnal flights, when migrating southward towards the Sahara, while making longer flights on their way north.

(6) Different from nocturnal passerine migrants, a few larger birds show tendencies to use day and night for migration: Some large wading birds and waterbirds extended their nocturnal migration into the morning when wind conditions were particularly favourable.

(7) Soaring migrants adjust their flight rhythm to the diurnal schedule of convection. Small raptors, capable of using flapping flight over large distances, are able to extend their flights to times without ther-

mal activity; some use even the night for fast desert crossing.

(8) The altitudinal distribution of nocturnal migration is governed by the trade wind system. Autumn migration is concentrated in the trade wind below the wind shear at 1500 to 2000 m, while in spring, the migrants tend to climb above the wind shear in order to reach the anti-trades. The altitudinal distribution is therefore not primarily adjusted to certain levels above ground, but rather to a certain level above sea according to the vertical distribution of winds.

(9) The altitudinal distribution of nocturnal migration is best predicted by the vertical profile of tail winds (50 to 60 % of variability explained). Other weather factors proved to be negligible.

(10) The height distribution and climbing rate of soaring migrants is governed by the depth and strength of the convective field, which can be forecasted by means of the program ALPTHERM on the basis of mid-night radio sondes.

(11) The migratory directions show less scatter in southern Israel during day and night compared to central Europe, mainly due to more constant and favourable winds. Slightly less favourable and more variable winds in spring induce some more scatter and slight drift towards E (mainly in daytime).

(12) Reverse migration is less frequent (4 %; towards the Sahara) in spring than in autumn (about 8 % on average; towards the Mediterranean zone); it is concentrated at the altitudes with winds against the principal direction of migration.

(13) Average ground speeds and airspeeds were 13.8 m/s and 11.2 m/s, respectively, in autumn; in spring the corresponding values were 12.4 and 11.5 m/s, respectively. This indicates on the one hand that the migrants in autumn enjoyed more wind support; on the other hand it shows that part of the wind effect was compensated by reducing own effort.

(14) Speed measurements of more than 100 identified species show that current aerodynamic models underestimate optimal speeds of small birds and overestimate those of large birds.

(15) Soaring migrants follow closely the theoretical predictions by adjusting their gliding speed to the actual climb rate in thermals, thus maximizing cross-country speed.

(16) The significance of the results for desert crossing is discussed.

Etudes sur les migrations d'oiseaux au sud de l'Israël au moyen de radar de conduite de tir

(1) Une étude d'impact sur l'environnement demandée par le Ministère israélien de la Communication pour évaluer les dangers potentiels de collision des oiseaux migrateurs contre un large système d'antennes, nous a permis de faire des études approfondies sur les migrations des oiseaux dans le sud d'Israël.

Une équipe de la Station ornithologique suisse a étudié le déroulement des migrations dans le temps et dans l'espace, ainsi que le comportement de vol des oiseaux migrateurs au moyen de radars placés l'un sur les hauteurs du Negev et l'autre dans la vallée d'Arava à l'emplacement prévu pour les antennes. La présente publication donne une vue d'ensemble sur les résultats obtenus jusqu'à aujourd'hui.

(2) Au niveau de la méthode, le projet en Israël a apporté de grands progrès (a) dans l'enregistrement quantitatif des migrations, (b) dans l'étalonnage réciproque des observations effectuées devant la pleine lune, avec un appareil à infrarouge et au radar et (c) pour prouver que notre radar – contrairement aux rayons lumineux et à certaines ondes radio – n'influence pas visiblement le comportement des oiseaux migrateurs.

(3) La méthode utilisée dans l'étude d'impact destinée au gouvernement israélien, pour calculer le risque de collision des migrateurs nocturnes contre un large système d'antennes (2 km de long et en moyenne 100 m de haut), est présentée.

(4) Dans le sud de l'Israël, les migrations sont plus concentrées sur les mois d'avril et de septembre que dans les régions méditerranéennes et sous les latitudes tempérées. Les variations journalières sont nettement moins fortes.

(5) Dans les régions arides d'Israël, les migrateurs insectivores au long cours maintiennent leur rythme: ils migrent de nuit et se reposent le jour. Ils réduisent cependant la durée de leurs vols nocturnes quand ils migrent vers le sud en direction du Sahara et rallongent leurs étapes au retour vers le nord.

(6) Contrairement aux passereaux qui migrent de nuit, certains oiseaux plus grands ont tendance de migrer aussi de jour: par conditions de vent favorables, certains habitants des zones humides ont prolongé leurs migrations jusqu'au matin.

(7) Les oiseaux planeurs adaptent leur rythme de vol au rythme des convections. Les petits rapaces qui pratiquent aussi le vol battu sur de longues distances, peuvent prolonger leurs vols au-delà des activités thermiques. Certains profitent même de la nuit pour traverser rapidement le désert.

(8) La distribution verticale des migrations nocturnes est dictée par les vents alizés. En automne, les oiseaux migrent avec les alizés, en-dessous des zones de cisaillement situées entre 1500 et 2000 m. Au printemps, ils migrent avec les anti-alizés au dessus de la zone de cisaillement. La distribution verticale des vents est donc déterminante pour le choix des altitudes de migration et c'est beaucoup moins l'altitude au-dessus du sol que celle au-dessus de la mer qui importe.

(9) Les distributions des vents permettent les meilleures prévisions de la distribution altitudinale des migrations nocturnes (50–60 % de la variance expliquée). D'autres facteurs météorologiques peuvent être considérés comme négligeables.

(10) La distribution verticale ainsi que la vitesse d'ascension des oiseaux planeurs sont déterminées par la convection atmosphérique, dont la prévision

peut être effectuée grâce au logiciel ALPTHERM qui utilise les radiosondages de minuit.

(11) Dans le sud de l'Israël, les directions des migrations, aussi bien de jour que de nuit, sont moins dispersées qu'en Europe centrale, grâce aux vents plus constants et plus favorables. Les vents légèrement plus variables et moins favorables au printemps (surtout de jour) entraînent une plus grande dispersion et une légère déviation vers l'est.

(12) La rétromigration est moins fréquente au printemps (4 %; vers le Sahara) qu'en automne (8 % en moyenne) et se concentre dans les altitudes avec vents contraires à la direction principale des migrations.

(13) Les vitesses moyennes de vol et les vitesses propres atteignaient en automne 13,8 m/s, resp. 11,2 m/s et au printemps 12,4 m/s, resp. 11,5 m/s. Ces données montrent d'une part, qu'en automne les oiseaux étaient plus favorisés par les vents arrière et d'autre part, que l'effet du vent est partiellement compensé par les variations des efforts propres.

(14) Les mesures de vitesse de plus de 100 espèces identifiées montrent que les modèles aérodynamiques courants sous-estiment pour les petits oiseaux et surestiment pour les grands oiseaux les vitesses optimales.

(15) En accord avec les prévisions théoriques, les oiseaux planeurs maximisent leur vitesse de voyage (cross-country speed) en adaptant leur vitesse de planée à la vitesse d'ascension dans les courants thermiques.

(16) La signification des résultats en vue de la traversée du désert est discutée.

Literatur

- BAUMGARTNER, M. (1997): Wetterabhängigkeit des nächtlichen Vogelzuges im Herbst über Süddeutschland. Bd.1: 115 S.; Bd.2: 93 S. Diss. Univ. Basel, Sempach.
- BOLDT, A. & B. BRUDERER (1994): Anfangsorientierung von Brieftauben im Einflussbereich eines Kurzwellensenders. Ornithol. Beob. 91: 111–123.
- BRUDERER, B. (1992): Radar studies on bird migration in the south of Israel. Jerusalem: Proc. Bird Strike Committee Europe 21: 269–280, Jerusalem.
- BRUDERER, B. (1994a): Research on bird migration by tracking radar in the Negev. Torgos 23: 29–38.
- BRUDERER, B. (1994b): Radar studies on nocturnal bird migration in the Negev. Ostrich 65: 204–212.
- BRUDERER, B. (1996): Nocturnal bird migration in Israel. In: H. SHIRIHAI (ed.): The Birds of Israel. Academic Press, London, pp 58–60.
- BRUDERER, B. (1997a): The study of bird migration by radar. Part 1: The technical basis. Naturwissenschaften 84: 1–8.
- BRUDERER, B. (1997b): The study of bird migration by radar. Part 2: Major achievements. Naturwissenschaften 84: 45–54.
- BRUDERER, B. (im Druck): Three decades of tracking radar studies on bird migration in Europe and the Middle East. Proc. Int. Seminar on Birds and Flight Safety in the Middle East. Int. Center for the Study of Bird Migration at Latrun, Tel-Aviv University, Soc. for the Protection of Nature in Israel (SPNI), Tel-Aviv.
- BRUDERER, B., S. BLITZBLAU & D. PETER (1994): Migration and flight behaviour of Honey Buzzards *Pernis apivorus* in southern Israel observed by radar. Ardea 82: 111–122.
- BRUDERER, B. & A. BOLDT (1994): Homing Pigeons under Radio Influence. Naturwissenschaften 81: 316–317.
- BRUDERER, B. & A. BOLDT (im Druck): Flight characteristics of birds: Part I: radar measurements of speeds. Ibis.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1994): Quantification of bird migration – different means compared. Proc. Bird Strike Committee Europe 22: 243–254. Vienna.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1995): Variation in density and height distribution of nocturnal migration in the south of Israel. Isr. J. Zool. 41: 477–487.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1998a): Intensität, Höhe und Richtung von Tag- und Nachtzug im Herbst über Südwestdeutschland. Ornithol. Beob. 95: 113–128.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1998b): Vogelzug-Quantifizierung – Ein Vergleich verschiedener Methoden. Vogel und Luftverkehr 18: 88–106.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1999): Bird migration across the Mediterranean. In: N. ADAMS & R. SLOTOW (eds): Proc. 22 Int. Ornithol. Congr., 1983–1999. Johannesburg, BirdLife South Africa.
- BRUDERER, B., D. PETER & T. STEURI (1999): Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and bright light beam. J. Exp. Biol. 202: 1015–1022.
- BRUDERER, B., T. STEURI & F. LIECHTI (1992): Negev Arava Migration Project (NAMIP). Summary and interpretation of the radar studies. Unpubl. report to the Israel Ministry of Communication.
- BRUDERER, B., T. STEURI & M. BAUMGARTNER (1995a): Short-range high-precision surveillance of nocturnal migration and tracking of single targets. Isr. J. Zool. 41: 207–220.
- BRUDERER, B., L. UNDERHILL & F. LIECHTI (1995b): Altitude choice of night migrants in a desert area predicted by meteorological factors. Ibis 137: 44–55.
- BRUDERER, L. (1999): Flexibility in intermittent flight and its consequences on wingbeat frequency and flight mode. A comparison of Barn Swallows *Hirundo rustica* and House Martins *Delichon urbica* based on radar trackings in the field and windtunnel observations. Diploma thesis, University of Basel and Swiss Ornithol. Institute, Sempach.

- BUURMA, L.S. & E. VAN GASTEREN (1989): Migratory birds and obstacles along the coast of the Dutch province Zuid Holland (in Dutch). Report from Royal Dutch Airforce to Province Zuid-Holland, Dienst Welzijn, Economie en Bestuur.
- FRUMKIN, R., B. PINSHOW & S. KLEINHAUS (1995): A review of bird migration in Israel. *J. Ornithol.* 136: 127–147.
- KOOPS, F. B. J. (1987): Draadslachtoffers in Nederland en effecten van markering. Arnhem, KEMA, N.V. tot keuring van elektrotechnische materialen.
- KOOPS, F. B. J. & J. DE JONG (1982): Vermindering van draadslachtoffers door markering van hoogspanningsleidingen in de omgeving van Heerenveen. *Elektrotechniek* 60: 641–646 und *Het Vogeljaar* 30: 308–316.
- LESHEM, Y. & Y. YOM-TOV (1996): The magnitude and timing of migration by soaring raptors, pelicans and storks over Israel. *Ibis* 138: 188–203.
- LIECHTI, F. & B. BRUDERER (1995): Direction, speed and composition of nocturnal bird migration in the south of Israel. *Isr. J. Zool.* 41: 501–515.
- LIECHTI, F. & B. BRUDERER (1998): The relevance of wind for optimal migration theory. *J. Avian Biol.* 29: 561–568.
- 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. EHRLICH & B. BRUDERER (1996): Flight behaviour of White Storks *Ciconia ciconia* on their migration over southern Israel. *Ardea* 84: 3–13.
- LIECHTI, F. M. KLAASSEN & B. BRUDERER (im Druck): Predicting migratory flight altitudes by physiological optimal migration models. *Auk* 116.
- LIECHTI, F. & E. SCHALLER (1999): The use of low-level jets by migrating birds. *Naturwissenschaften* 86: 549–551.
- LIECHTI, O. & B. NEININGER (1994): ALPTHERM a PC-based model for atmospheric convection over complex topography. *Technical Soaring* 18: 73–78.
- LIECHTI, O. & E. LORENZEN (1998): A new approach to the climatology of convective activity. *Technical Soaring* 22: 36–40.
- MEYER, S. (1999): Raptor migration at the south coast of Spain: Flying along coast versus crossing the Mediterranean Sea. Diploma thesis, University of Basel and Swiss Ornithol. Institute, Sempach.
- PETER, D. & M. KESTENHOLZ (1998): Sturzflüge von Wanderfalke *Falco peregrinus* und Wüstenfalke *F. peleginoides*. *Ornithol. Beob.* 95: 107–112.
- SHIRIHAI, H. (1996): The birds of Israel. Academic Press, London.
- SHIRIHAI, H. & D. A. CHRISTIE (1992): Raptor migration at Eilat. *Brit. Birds* 85: 141–186.
- SPAAR, R. (1995): Flight behaviour of Steppe Buzzard *Buteo buteo vulpinus* during spring migration in southern Israel: a tracking radar study. *Isr. J. Zool.* 41: 489–500.
- SPAAR, R. (1996): Flight behaviour of migrating raptors in southern Israel. 148 pp. Diss. Univ. Basel, Sempach.
- SPAAR, R. (1997): Flight strategies of migrating raptors; a comparative study of interspecific variation in flight characteristics. *Ibis* 139: 523–535.
- SPAAR, R. (1999): Flight behaviour of migrating raptors under varying environmental conditions. In: N. ADAMS & R. SLOTOW (eds): *Proc. 22 Int. Ornithol. Congr.*, 1844–1862. Johannesburg, BirdLife South Africa.
- SPAAR, R. & B. BRUDERER (1996): Soaring migration of Steppe Eagles *Aquila nipalensis* in southern Israel: flight behaviour under various wind and thermal conditions. *J. Avian Biol.* 27: 289–301.
- SPAAR, R. & B. BRUDERER (1997a): Optimal flight behaviour of soaring migrants: a case study of migrating steppe buzzards *Buteo buteo vulpinus*. *Behav. Ecol.* 8: 288–297.
- SPAAR, R. & B. BRUDERER (1997b): Migration by flapping or soaring: Flight strategies of Marsh, Montagu's and Pallid Harriers in southern Israel. *Condor* 99: 458–469.
- SPAAR, R., O. LIECHTI & B. BRUDERER (im Druck): Forecasting flight altitudes and soaring performance of migrating raptors by the altitudinal profile of atmospheric conditions. *Technical Soaring*.
- SPAAR, R., H. STARK & F. LIECHTI (1998): Migratory flight strategies of Levant sparrowhawks: time or energy minimization. *Anim. Behav.* 56: 1185–1197.
- STARK, H. & F. LIECHTI (1993): Do Levant Sparrowhawks *Accipiter brevipes* also migrate at night? *Ibis* 135: 233–236.
- STEINER, I. & B. BRUDERER (1999): Anfangsorientierung und Heimkehrverhalten von Brieftauben unter dem Einfluss von Kurzwellen. *J. Ornithol.* 140: 165–177.
- YOM-TOV, Y. (1988): Bird migration in Israel. In: Y. YOM-TOV & E. TCHERNOV (eds): *The zoogeography of Israel*. Junk Publishers, Dordrecht NL.

Manuskript eingegangen 4. Oktober 1999
 Angenommen 27. Oktober 1999