

### RADARBEOBSACHTUNGEN ÜBER DEN HERBSTLICHEN VOGELZUG IN SÜDDEUTSCHLAND.

von BRUNO BRUDERER, FELIX LIECHTI und DOROTHEE ERICH, Sempach/  
Schweiz.

(Mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung; Projekt Nr. 3.171-0.85)

Zusammenfassung: 1987 wurde der herbstliche Vogelzug erstmals an fünf verschiedenen Orten in Süddeutschland mit Zielfolgeradar beobachtet. Ein sechster Radarstandort befand sich im westlichen Teil des schweizerischen Mittellandes. In jeder Nacht wurden die vertikalen Häufigkeitsverteilungen der Vogelechos sowie die Flugwege von rund 150 Vögeln und drei Windmeßballonen registriert. Die mit Radar gemessenen Flugrichtungen beruhen auf den Primärrichtungen der am Zug beteiligten Vogelarten. Dieses Gemisch von angeborenen Richtungen wird durch Wetter- und Topographie-Einflüsse modifiziert. Die in strukturarmem Gelände bei geringen Windgeschwindigkeiten ermittelten Grundrichtungen in Süddeutschland liegen bei tief fliegenden Vögeln im Bereich von 230°, bei hoch fliegenden Vögeln etwa 15° südlicher. Richtungsanpassungen entstehen vor allem an markanten, langgezogenen Strukturen (z.B. Täler, Bergkämme), deren Verlauf wenig von der Grundrichtung abweicht. Der lenkende Einfluß der Topographie nimmt mit der Flughöhe der Vögel ab. Die Wirkung des Windes auf die Flugrichtungen nimmt mit der Windgeschwindigkeit zu, da die Vögel ihre Kompensationstendenz nicht entsprechend steigern.

Summary: - Radar observations on autumn migration in southern Germany -. In 1987, autumn migration was observed for the first time by tracking radar at five different sites in the area of southern Germany. An additional radar site was in the western part of the Swiss lowlands. In each night we recorded the vertical distribution of bird echoes, the flight paths of about 150 birds, and of three radar tracked pilot balloons. The flight directions measured by radar are the result of the innate primary directions of the migrating species, modified by the influence of topography and weather. The basic directions determined in southern Germany in areas without pronounced topographical features at low wind speeds are around 230° for low flying birds and slightly (in the order of

15°) more southern at higher levels above ground. Modifications occur primarily along pronounced linear structures (e.g. valleys, mountain ridges); the modifying influence increases with decreasing deviation of these features from the basic direction; it decreases with the flight level of the birds, while the influence of wind increases with its speed, as a result of insufficient additional compensation by the birds. The following situations are analysed in order to discover basic directions and modification: 1) different sites in low wind speeds; 2) pooled data of three topographically "neutral" stations under different wind conditions; 3) two sites with presumed topographically relevant structures.

### 1. Methoden, Beobachtungsgebiete und Fragestellung.

Drei ausgediente Fliegerabwehr-Feuerleitgeräte vom Typ "Superfledermaus" wurden eingesetzt für die Luftraumüberwachung sowie für die automatische Verfolgung von Einzelzielen. Die Luftraumüberwachung erfolgt durch konische Abtastung mit verschiedenen Elevationen und digitaler Registrierung der Echos mit IBM-PC/AT. Kleinvögel werden dabei bis zu Distanzen von über 4 km als Echos erkannt. Ziel ist die Berechnung von Zugdichten in allen relevanten Höhenlagen. Die Verfolgung von ausgewählten Einzelobjekten aus allen Höhenbereichen gibt Auskunft über ihre Flugrichtungen sowie über ihre vertikalen und horizontalen Geschwindigkeiten. Gleichzeitig aufgezeichnete Echosignaturen erlauben nicht nur die Abgrenzung von Vogelechos gegenüber anderen Flugobjekten, sondern auch eine grobe Klassifizierung der verfolgten Vögel (BRUDERER, 1969; BLOCH et al., 1981). Die Verfolgung von je drei Pilotballonen pro Nacht und Station ergibt Winddaten für die entsprechenden Flugniveaus; die digital gespeicherten Flugwegdaten von Vögeln und Windmeßballonen dienen u.a. der Berechnung von Eigengeschwindigkeiten und Eigenrichtungen. Zur Illustration von Computer-Darstellungen des Radar-Bildschirms und von Flugwegen siehe BRUDERER u. JENNI (1988). Weitere Grundlagen zur Methodik finden sich bei BRUDERER (1971) und bei BLOCH et al. (1980).

Um das Zuggeschehen vergleichend in einem größeren Raum (Abb.1) und dabei insbesondere das Richtungsverhalten der Vögel im Anflugbereich zu den Alpen zu erfassen, stationierten wir eine Radaranlage während der ganzen Beobachtungsperiode (01.08.1987-30.10.1987) in der Gemeinde Lehrberg (460 m ü.M.), 30 km westlich von Nürnberg. Die sanfte Hügellandschaft der auslaufenden Alb wird hier nicht durch markante topographische Strukturen dominiert. Eine zweite Radarstation stand während je etwa drei Wochen an vier verschiedenen Orten:

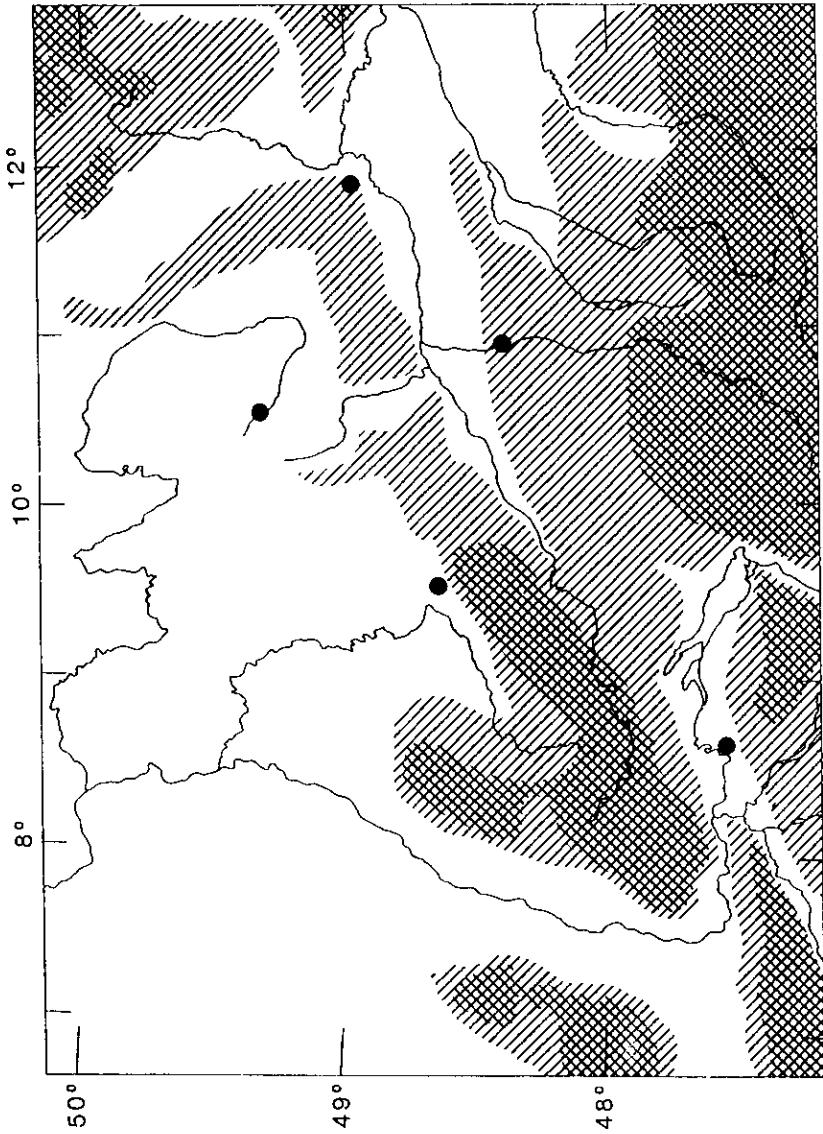


Abb.1: Beobachtungsgebiet - Radarstandorte vgl. Abb.2; einfach schraffiert = Gebiete über 500 m/M; kreuzweise schraffiert = Gebiete über 700 m/M.

a) 01.-30.08. im ausgeprägt S-N verlaufenden Tal des Lech bei Augsburg (Gemeinde Hirblingen, 450 m ü.M.); b) 31.08.-21.09. 15 km westlich von Regensburg (Gemeinde Painten, 540 m ü.M.) am Ostrand der Fränkischen Alb, wo das Donautal von WSW kommend nach ESE schwenkt und von N und NW her durch ein trichterartiges Tiefland zwischen Alb und Bayerischem Wald zugänglich ist; c) 22.09.-09.10. 40 km östlich von Stuttgart (Gemeinde Ohmden, 350 m ü.M.) 10-15 km nördlich des Randes der Schwäbischen Alb, der hier rund 400 m über das flache Hügelvorland aufragt und in WSW-Richtung (240°, lokal 255°) verläuft; d) 10.-30.10. 14 km südlich von Schaffhausen (Gemeinde Flaach, 350 m ü.M.) am Eingang zum schweizerischen Mittelland, 1 km vom Rhein, der hier von NNE kommt und nach wenigen Kilometern westwärts abbiegt. Eine weitere Radarstation, die hier aber nicht näher behandelt wird, befand sich bei Payerne im westlichen Teil des schweizerischen Mittellandes.

Da verschiedene anhand ihrer Flügelschlagmuster unterscheidbare Vogelgruppen (große und kleine Wat- und Wasservögel sowie große und kleine Singvögel; vgl. BLOCH et al., 1981) keine wesentlichen Unterschiede im Richtungsverhalten zeigten, wird hier stets der Nachtzug als Ganzes behandelt. Auch die Prüfung auf jahreszeitliche Unterschiede ergab keine eindeutige, nicht auf Windeinfluß zurückführbare Richtungsänderung im Verlauf des Herbstes. Das Richtungsverhalten der Vögel wird unter folgenden Bedingungen geprüft: 1) verschiedene Orte bei geringer Windgeschwindigkeit, mit dem Ziel, möglichst unmodifizierte Grundrichtungen sowie örtlich bedingte Abweichungen zu erkennen; 2) gepoolte Daten von topographisch wenig beeinflussten Stationen bei verschiedenen Richtungen und Geschwindigkeiten des Windes, mit dem Ziel, Modifikationen durch den Wind festzustellen; 3) die Daten deutlich topographisch geprägter Stationen, um mögliche Leitlinieneffekte bei verschiedenen Winden einzugrenzen. In allen drei Situationen werden hoch und tief fliegende Vögel (unter bzw. über 1000 m über Radar) unterschieden. In den Situationsanalysen 2 und 3 werden zudem Flug- und Eigenrichtungen (track und heading) unterschieden, um die Verdriftung durch den Wind bzw. das Kompensationsverhalten der Vögel sichtbar zu machen.

Um einen möglichst homogenen Datensatz zu erreichen, wurden in die hier vorgelegten Berechnungen und graphischen Darstellungen nur innerhalb der Dämmerungsgrenzen fliegende (nachtziehende) Vögel einbezogen, deren Flugwege die folgenden Bedingungen erfüllten: Vertikalgeschwindigkeit < 100 cm/s, zeitlich nicht mehr als 4 Stunden und vertikal weniger als 200 m von einem Windmeßpunkt entfernt. Ebenso wurden Kurvenflüge aus der Auswertung ausgeschlossen. Die graphisch dargestellten Richtungsspektren sind prozentuale Häufigkeitsvertei-

lungen der verfolgten Vögel (bzw. Winddaten pro Vogel) in Klassen zu 5°, wobei Schwankungen durch gleitende Mittel über drei Klassen geglättet wurden. Die Berechnung von Mittelvektoren der Richtungsverteilungen nach BATSCHULET (1981) beruht stets auf den Einzelwerten. Wir bezeichnen die bei geringen Windgeschwindigkeiten an einem bestimmten Ort vorherrschende mittlere Flugrichtung als Grundrichtung. Im Idealfall beruht diese Grundrichtung unmittelbar auf dem ortstypischen Gemisch von Primärrichtungen der durchziehenden Arten und Populationen. In der Realität wird sie allenfalls durch Topographie-Einflüsse modifiziert, sollte aber nur wenig durch den schwachen (und deshalb weitgehend kompensierten) Wind beeinflusst sein. Als Meßwert für die Grundrichtung nehmen wir im Normalfall, d.h. bei symmetrischen oder nur schwach asymmetrischen Verteilungen, den Mittelvektor. Bei stark asymmetrischen oder multimodalen Verteilungen wird (mit speziellem Hinweis) der Modus oder ein geschätzter Mittelwert im Bereich des Verteilungsschwerpunktes verwendet.

## 2. Ergebnisse.

### 2.1. Grundrichtungen und Ortsunterschiede bei schwachen Winden.

Die in der Natur beobachtbaren Flugrichtungen ziehender Vögel beruhen auf den Primärrichtungen (GEYR VON SCHWEPPENBURG, 1949) der am Zug beteiligten Arten. Die aufgrund der Herkunftsgebiete und Destinationen der Vögel unter Umständen bereits recht variablen Richtungsspektren werden durch Topographie und Wettereinflüsse zusätzlich modifiziert. Da die hier durchgeführten Feldbeobachtungen keine experimentellen Eingriffe erlauben, versuchen wir durch Auswählen und Vergleichen verschiedener Situationen die Ursachen von Modifikationen zu ergründen.

Die im Experiment wünschbare Situation totaler Windstille und strukturloser Landschaft zur Ermittlung einer eindeutigen Grundrichtung für eine Region existiert in der Natur nicht. Es kann deshalb hier nur darum gehen, Grundrichtungen in topographisch wenig bzw. stärker strukturierten Gebieten bei möglichst schwachen Winden zu vergleichen. Schwache Winde sind generell nicht sehr häufig und waren im Herbst 1987 besonders selten. Um genügende Stichproben für die fünf zum Teil nur drei Wochen lang besetzten Stationen zu erhalten, mußten Windgeschwindigkeiten bis 5 m/s als Schwachwindsituationen akzeptiert werden. Aus Abb.3a geht hervor, daß derartige Winde aus verschiedenen Richtungen insgesamt nicht zu wesentlichen Veränderungen der Flugrichtungen führen: schwache Gegenwinde ergeben lediglich eine geringe Erhöhung der Streuung; die häufigen Seitenwinde von rechts (d.h. aus NW) werden weitgehend kompensiert;

im Herbst 1987 führten lediglich die seltenen Seitenwinde von links (d.h. aus SE) zu deutlicher Verdriftung (zur Begründung siehe Kap.2.2.).

Abb.2a zeigt für die topographisch wenig beeinflußten Stationen Nürnberg, Augsburg und Regensburg sehr ähnliche Richtungsspektren. Für tief fliegende Vögel ergibt die Berechnung der Mittelvektoren in allen drei Fällen trotz unterschiedlicher Beobachtungsperioden ca.  $230^\circ$  ( $229-233^\circ$ ). Die Mittelvektoren für hoch fliegende Vögel variieren stärker; allenfalls könnte die Driftkompensation reduziert sein. Unter Berücksichtigung der in Abb.2b dargestellten Richtungsspektren der pro Vogel gemessenen Winde lassen sich die Mittelvektoren für hoch fliegende Vögel wie folgt interpretieren: Im Raum Nürnberg ist die Windverteilung ausgeglichen und das Datenmaterial so groß ( $n = 1388$ ), daß die berechnete Mittelrichtung von  $218^\circ$  repräsentativ ist; in Augsburg dürfte das eindeutige Überwiegen nordwestlicher Winde Ursache einer nennenswerten Südabweichung ( $208^\circ$ ) sein; die nur auf 168 Meßwerten beruhende Verteilung bei Regensburg ist deutlich bimodal, mit einem Modus bei  $210^\circ$  (allenfalls windbeeinflußt) und einem zweiten bei  $240^\circ$  (allenfalls durch die großräumige Topographie beeinflusst?). Ein Einfluß des Lechtales bei Augsburg und des Donautales bei Regensburg ist nicht erkennbar.

Bei Stuttgart und Flaach weichen die Mittelvektoren tief fliegender Vögel mit  $248^\circ$  bzw.  $222^\circ$  divergierend von der Grundrichtung im Raum Nürnberg ab. Die Grundrichtung fällt östlich Stuttgart mit dem Verlauf der Schwäbischen Alb ( $240^\circ$ ) zusammen. Die Vermutung, daß die Südabweichung in Flaach auf der Angleichung eines Teils der Flugwege an den Verlauf des Rheintales (lokal  $200^\circ$ ) beruhen könnte, liegt nahe und ist weiter zu prüfen (Kapitel 2.3.). Über 1000 m fliegende Vögel zeigen in Flaach einen Mittelvektor von  $214^\circ$  bei ausgeglichenen Windhäufigkeiten von links und rechts; östlich Stuttgart ergibt sich über 1000 m bei überwiegend nördlichen Winden ein Mittelvektor von  $226^\circ$ ; werden bei

---

Abb.2a (nächste Seite): Umhüllende der Richtungsspektren aller Flugrichtungen bei schwachen Winden an den fünf Beobachtungsorten, je unter und über 1000 m/ Radar. Gerasterte Gebiete liegen über 1000 m/M. Die Richtungsspektren sind prozentuale Verteilungen; sie beruhen auf folgenden Anzahlen einzeln verfolgter Vögel: Nt = 1327, Nh = 1388; At = 366, Ah = 389; Rt = 320, Rh = 168; St = 201, Sh = 463; Ft = 542, Fh = 550. Als Referenz ist mit einem Pfeil am Kreisrand die für Süddeutschland ermittelte Grundrichtung tief fliegender Vögel ( $230^\circ$ ) angegeben.

Abb.2b (nächste Seite): Windrichtungsspektren zu den Vögeln in Abb.2a. Für jeden Vogel ist die für ihn gültige Windrichtung in die Richtungsverteilung aufgenommen worden. Die Anzahlen entsprechen deshalb bei jedem Einzeldiagramm denjenigen in Abb.2a.

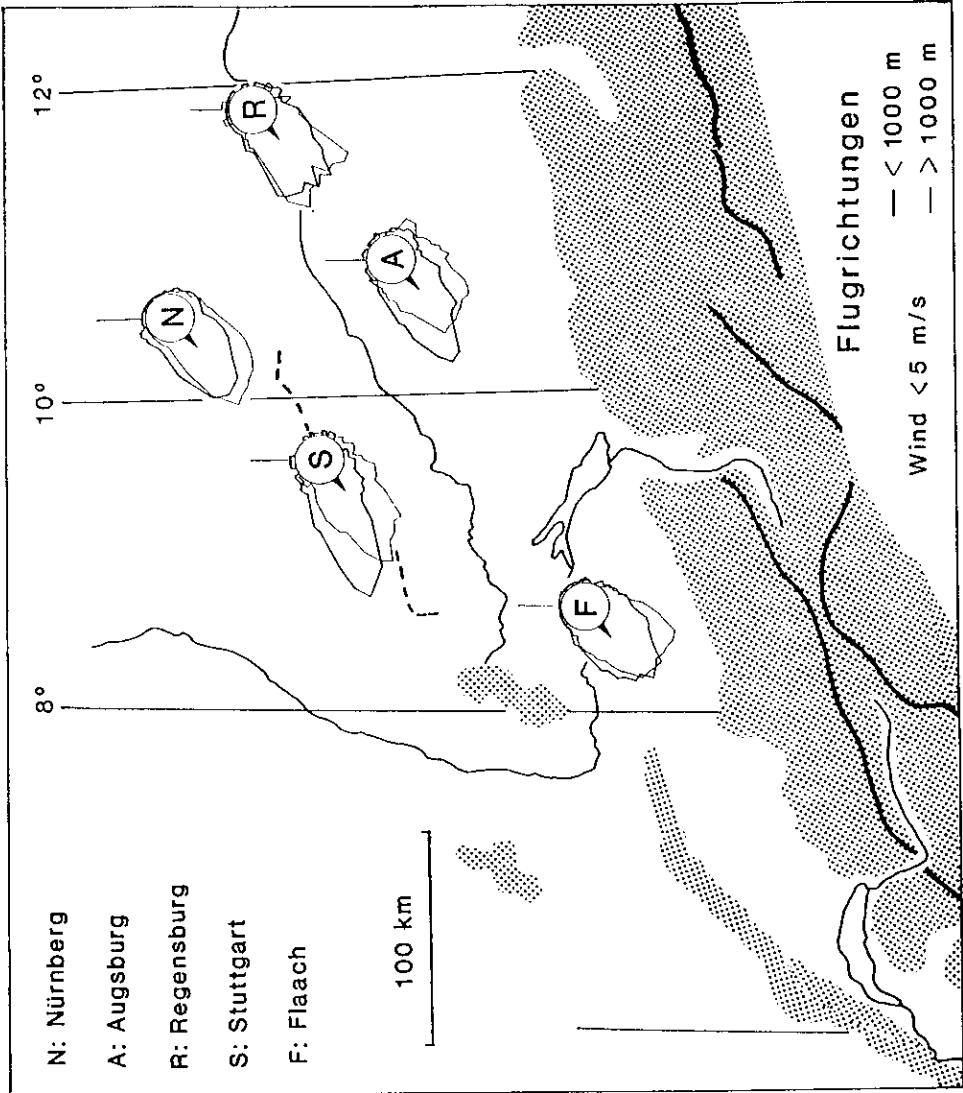


Abb.2 a: Legende vergleiche Vorseite.

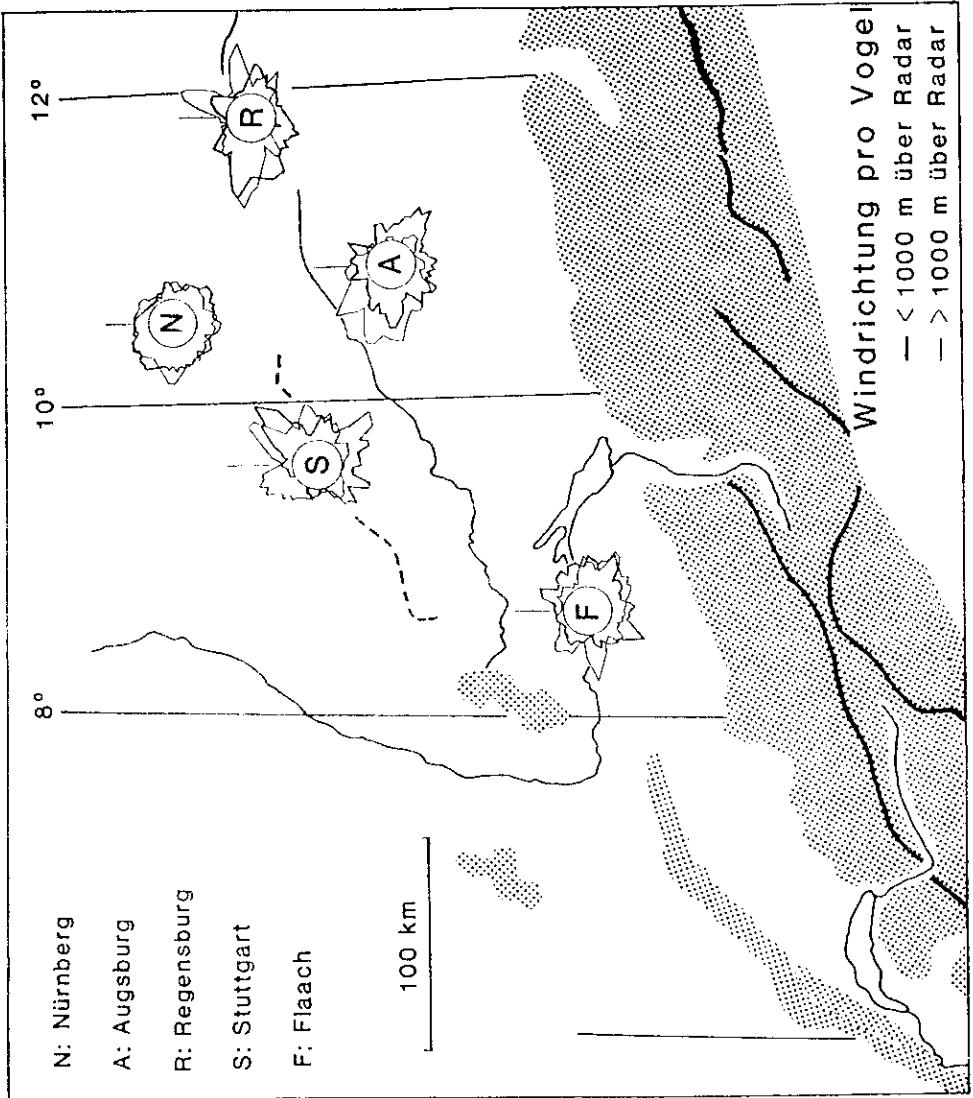


Abb. 2 b: Legende vergleiche Vorseite.

Stuttgart nur Vögel über 1500 m berücksichtigt (s.BRUDERER & JENNI, im Druck), resultieren 220°, was auf abnehmenden Einfluß der 400 m über den Radarstandort aufragenden Schwäbischen Alb, allenfalls verbunden mit zunehmendem Windeinfluß, deuten könnte.

Schlußfolgerung: Unter weitgehendem Ausschluß von Topographie- und Windeinflüssen ergibt sich über Süddeutschland eine Grundrichtung von rund 230° für Vögel unter 1000 m GND und von 215-220° für Vögel über 1000 m GND. Die Richtungsverteilungen der tief fliegenden Vögel werden durch wenig von der generellen Grundrichtung abweichende Leitlinien beeinflusst. Bei hoch fliegenden Vögeln scheint die richtende Wirkung der Topographie abzunehmen.

## 2.2. Windeinfluß auf Flug- und Eigenrichtungen.

Um den Windeinfluß in drei Windstärkeklassen und vier Windsektoren beurteilen zu können, wurden die Daten der drei topographisch wenig beeinflussten Stationen Nürnberg, Augsburg und Regensburg zusammengefaßt. Auf diese Weise ergaben sich, abgesehen von den Rückenwinden, für alle Situationen aussagekräftige Stichproben (Abb.3). Die Windsektoren wurden relativ zur Grundrichtung der tief fliegenden Vögel gewählt; als Gegenwind gelten deshalb Winde aus einem Sektor von  $\pm 20^\circ$  um 230°, als Rückenwind solche aus  $\pm 20^\circ$  um 50°, als Seitenwind von links bzw. rechts solche aus Richtungen von  $\pm 20^\circ$  senkrecht zur Grundrichtung. Da ein Wind aus Richtung 230° bezogen auf die Grundrichtung des hohen Zuges eine leichte Seitenwindkomponente enthält, wurden die Verteilungen des hohen Zuges auch mit Windsektoren überprüft, die von einer Grundrichtung von 218° ausgehen; da sich keine grundsätzlichen Differenzen ergaben, wird hier für hoch und tief fliegende Vögel mit denselben Windsektoren gearbeitet. Im Sinne der Übersichtlichkeit geben wir den Kommentar zu den Abb. 3a und Abb.3b stichwortartig und fassen die statistischen Angaben in Tabelle 1 zusammen (E steht für Eigenrichtungen, F für Flugrichtungen, M für Mittelvektor; t bzw. h = tief bzw. hochfliegende Vögel):

---

Abb.3a: Richtungsspektren (Umbüllende für Höhen unter 1000 m/Radar dick ausgezogen, für Höhen über 1000 m/Radar dünn ausgezogen) der gepoolten Flugrichtungen von drei topographisch wenig beeinflussten Stationen (Nürnberg, Augsburg und Regensburg) unter verschiedenen Windbedingungen. Als Referenz ist mit einem Pfeil am Kreisrand die für Süddeutschland ermittelte Grundrichtung tief fliegender Vögel (230°) angegeben. Statistische Daten dazu in Tabelle 1.

Abb.3b: Richtungsspektren der gepoolten Eigenrichtungen von drei topographisch wenig beeinflussten Stationen (Nürnberg, Augsburg, Regensburg). Analog Abb.3a.

ABB.3a: FLUGRICHTUNGEN IN SÜDDEUTSCHLAND

Wind

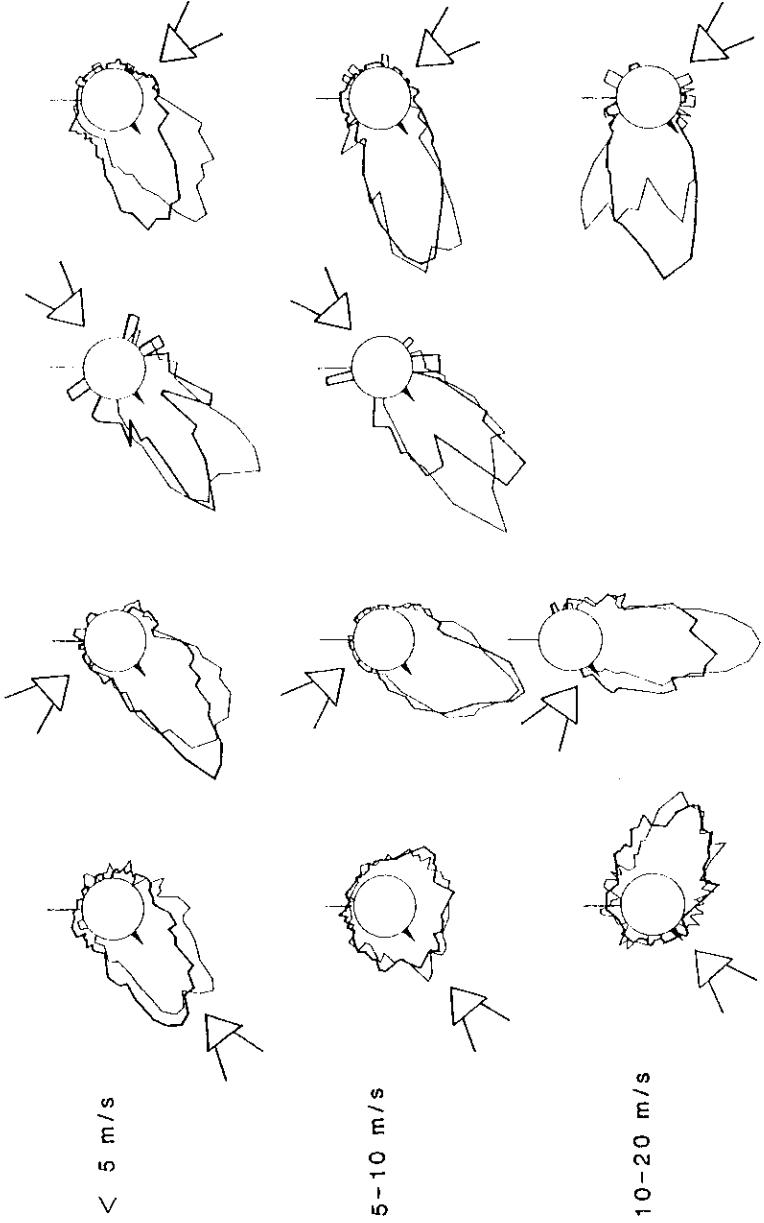


Abb. 3 a: Legende vergleiche Vorseite.

ABB.3b: EIGENRICHTUNGEN IN SÜDDEUTSCHLAND

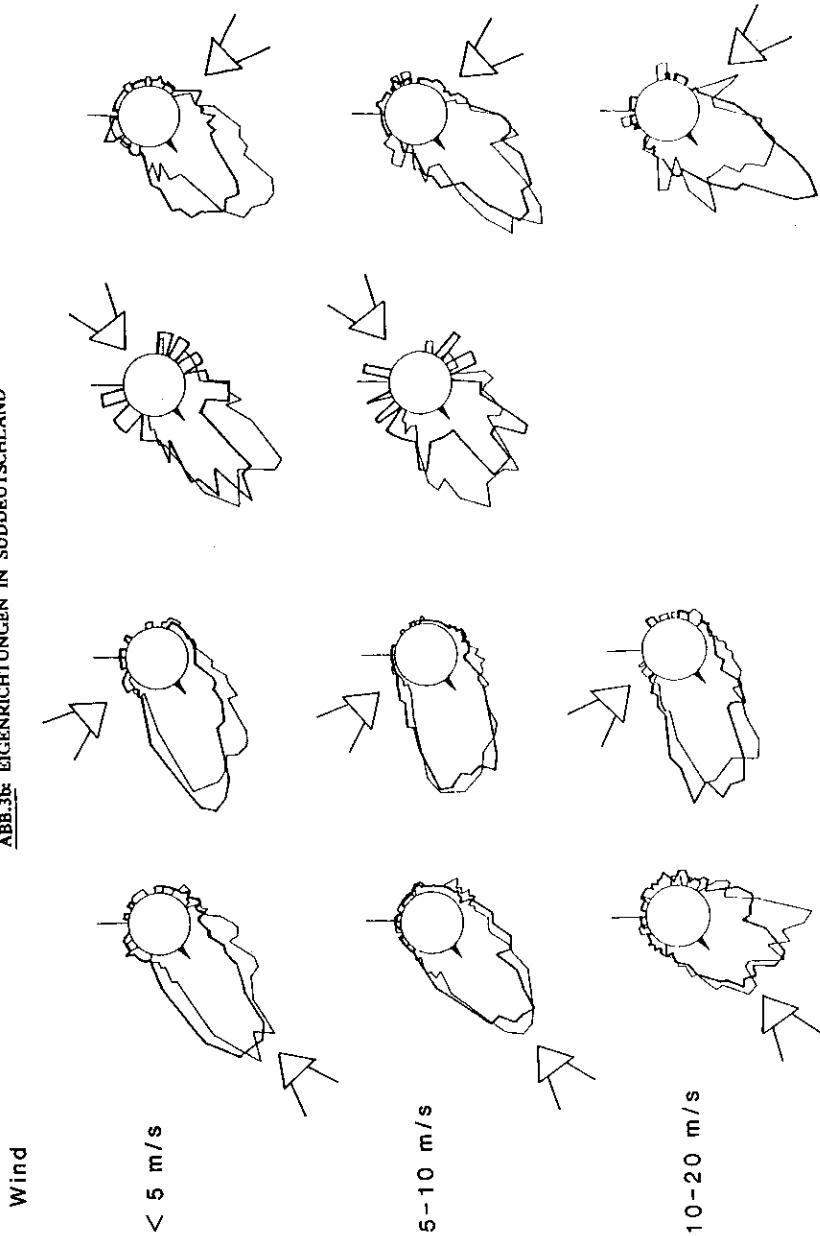


Abb.3 b: Legende vergleiche Vorseite.

**Tabelle 1:** Mittelvektoren der Eigenrichtungen (ME) und der Flugrichtungen (MF) unter verschiedenen Windbedingungen in zwei Höhenbereichen. Daten von drei topographisch wenig beeinflussten Stationen in Süddeutschland (N,A,R) zusammengefaßt.

Windrichtung	Windstärken						
	schwach < 5 m/s		mäßig 5-10 m/s		stark 10-20 m/s		
	MF (n/r)	ME (n/r)	MF (n/r)	ME (n/r)	MF (n/r)	ME (n/r)	
Wind (300-360°)	tief	232(195/0,66)	232(195/0,70)	218(154/0,59)	219(154/0,72)	169(190/0,34)	223(190/0,69)
	hoch	217(194/0,77)	221(194/0,78)	203(261/0,66)	213(261/0,74)	152(298/0,65)	218(298/0,64)
Wind (200-250°)	tief	235(207/0,60)	241(210/75)	211(46/0,61)	221(46/0,69)	107(35/0,51)	234(305/0,59)
	hoch	213(226/0,61)	216(226/0,73)	194(307/0,42)	213(307/0,70)	132(158/0,49)	224(150/0,72)
Wind NW (300-340°)	tief	226(226/0,74)	247(224/0,76)	251(41/0,70)	247(41/0,76)	181(215/0,82)	243(165/0,78)
	hoch	217(296/0,82)	231(296/0,82)	203(446/0,79)	240(446/0,76)	176(241/0,89)	234(241/0,75)
Wind (110-130°)	tief	214(219/0,69)	211(262/0,55)	229(155/0,80)	211(155/0,57)	218(127/0,69)	207(127/0,69)
	hoch	213(177/0,84)	214(177/0,86)	226(142/0,91)	225(142/0,82)	-	-
Wind (110-130°)	tief	245(274/0,61)	225(270/0,64)	251(270/77)	211(269/0,74)	270(258/0,84)	217(258/0,78)
	hoch	227(175/0,76)	213(176/0,76)	276(290/0,89)	211(267/0,79)	272(187/0,75)	211(190/0,92)

Schwache Winde (< 5 m/s)

Gegenwind/tief: eng konzentrierte Eigenrichtungen ( $ME_t = 233^\circ$ ), leicht erhöhte Streuung der Flugrichtungen ( $MF_t = 235^\circ$ ) ohne nennenswerte Abweichung von der Grundrichtung.

Gegenwind/hoch: Leichtes Links- oder Rechts-Abweichen der Vögel vom direkten Gegenwindflug führt zu schwach bimodalen Verteilungen der Flugrichtungen ( $MF_h = 216^\circ$ ) mit geringer Südabweichung von der für hoch fliegende Vögel ermittelten Grundrichtung (einzelne Vögel wohl mit tolerierter bzw. durch leichte Südwärtsdrehung der Körperachse induzierter Drift, wie bei mäßigem und starkem Wind; s.u.)

Seitenwind von rechts (NW-Wind)/tief: geringste Streuung von Flug- und Eigenrichtungen ( $MF_t = 226^\circ$ ;  $ME_t = 247^\circ$ ; Abdrift durch den NW-Wind wird beinahe vollständig kompensiert.

Seitenwind von rechts (NW-Wind)/hoch: Vor allem die Eigenrichtungen sind leicht bimodal verteilt ( $ME_h = 230^\circ$ ) und streuen wie die Flugrichtungen stark ( $MF_h = 216^\circ$ ); Abdrift aber im Mittel kompensiert.

Rückenwind/tief und hoch: Wenige Situationen mit diesen Windverhältnissen, wenig tief fliegende Vögel mit starker Richtungsstreuung; zumindest in der Höhe deutlich bimodale Verteilung. Die hoch fliegenden Vögel weichen mit  $MF_h = 218^\circ$  nicht, die tief fliegenden mit  $MF_t = 224^\circ$  nur zufällig (d.h. statistisch nicht signifikant) etwas von den entsprechenden Grundrichtungen ab.

Seitenwind von links (SE-Wind)/tief und hoch: Die Eigenrichtungen zeigen, daß tief und hoch fliegende Vögel nur wenig kompensieren ( $ME_t = 245^\circ$ ), über 1000 m bei geringeren Seitenwindkomponenten eine mäßige Verdriftung ( $MF_h = 227^\circ$ ).

#### Mäßige Winde (5-10 m/s)

Windgeschwindigkeiten mit 10 m/s entsprechen mit 36 km/h den Eigengeschwindigkeiten langsam fliegender Singvögel (s.BLOCH & BRUDERER, 1982). Kompensation wird schwierig, gegen den Wind fliegen kann unrentabel werden.

Gegenwind/tief und hoch: Die Eigenrichtungen zeigen vor allem bei den tief fliegenden Vögeln - ohne erhöhte Streuung - eine Tendenz zur Südabweichung von den entsprechenden Grundrichtungen ( $ME_t = 221$ ;  $ME_h = 215^\circ$ ). Der Wind bewirkt aufgrund der verschiedenen Einfallswinkel eine enorme Streuung der Flugrichtungen: neben Vögeln, die noch gegen den Wind vorankommen können, werden viele seitwärts verdriftet, wobei die leichte Südabweichung der Eigenrichtungen zu verstärkter S- bis SE-Verdriftung führt.

Seitenwind von rechts/tief und hoch: Die Kompensationstendenz ist unten etwa gleich stark wie bei schwachen Winden ( $ME_t = 247^\circ$ ), in der Höhe etwas stärker ( $ME_h = 240^\circ$ ); sie reicht aber hier nicht mehr aus, um Verdriftung zu verhindern ( $ME_t = 205^\circ$ ,  $ME_h = 200^\circ$ ).

Rückenwind/tief und hoch: Trotz großer Streuung der Eigenrichtungen werden die Flugrichtungen durch den Rückenwind recht eng konzentriert um  $MF_t = MF_h = 226^\circ$ ; womit die tief fliegenden Vögel leicht nach links, die hoch fliegenden leicht nach rechts von der jeweiligen Grundrichtung abweichen.

Seitenwind von links/tief und hoch: Tief fliegende Vögel zeigen mäßige, hoch fliegende keine Kompensationstendenz ( $ME_t = 213^\circ$ ;  $ME_h = 256^\circ$ ); in beiden Fällen ergibt sich eine starke Verdriftung. Dank stärkerer Seitenwindkomponenten unter 1000 m sind die resultierenden Mittelvektoren auf beiden Niveaus beinahe gleich ( $MF_t = 253^\circ$ ;  $MF_h = 256^\circ$ ).

### Starke Winde (> 10 m/s )

Gegenwind/tief und hoch: Nur vereinzelte Vögel sind noch in der Lage, gegen derart starke Winde anzukämpfen. Die Mehrheit der Vögel hat in beiden Höhengschichten die Eigenrichtungen südwärts gedreht ( $ME_t = 204^\circ$ ;  $ME_h = 204^\circ$ ). Die meisten Vögel werden durch den Wind SE-wärts verdriftet ( $MF_t = 107^\circ$ ;  $MF_h = 113^\circ$ ).

Seitenwind von rechts/tief und hoch: Die Kompensationstendenz ist deutlich, aber nicht stärker als bei mäßigen Winden ( $ME_t = 248^\circ$ ;  $ME_h = 234^\circ$ ).

Rückenwind: Praktisch keine starken Winde aus NE.

Seitenwind von links/tief und hoch: Unter 1000 m mäßige, über 1000 m keine Kompensationstendenz ( $ME_t = 217^\circ$ ;  $ME_h = 221^\circ$ ); starke Verdriftung ( $MF_t = 270^\circ$ ;  $MF_h = 272^\circ$ ).

Schlußfolgerung: Winde verschiedener Stärke führen nur im Falle von Gegenwind zu einem qualitativen Unterschied im Richtungsverhalten der Vögel: Bei schwachem Gegenwind lohnt es sich für die meisten Vögel noch, gegen den Wind anzukämpfen; mit zunehmender Windgeschwindigkeit drehen die meisten Vögel ihre Körperachse (Eigenrichtung) leicht südwärts und damit schräg zum Wind, was mit steigender Windgeschwindigkeit zu einer zunehmenden S- bis SE-Verdriftung führt. Bei Rücken- und Seitenwind ergeben sich aufgrund der Windgeschwindigkeiten nur graduelle Unterschiede in den Richtungsspektren: Bei Rückenwind entstehen trotz stark streuender Eigenrichtungen Flugrichtungsspektren, die nicht wesentlich vom Grundmuster abweichen. Bei Seitenwind ergibt sich eine mit der Windgeschwindigkeit zunehmende Verdriftung, da die Vögel ihre Kompensationsanstrengungen nicht entsprechend der Windgeschwindigkeit steigern. Die Tatsache, daß Winde von rechts konstant, Winde von links dagegen nur zum Teil kompensiert werden, läßt sich wahrscheinlich durch das Überwiegen von Winden aus dem Sektor SW bis N während der Herbstzuperiode 1987 erklären: der Verzicht auf Kompensation bei Winden von SE könnte einen Ausgleich für an vorangegangenen Tagen bzw. auf dem bisherigen Zugweg erlittene Drift darstellen.

### 2.3. Leitlinieneinfluß.

Aus Abb.2 ergibt sich der Hinweis, daß nachziehende Vögel unter 1000 m am Nordrand der Schwäbischen Alb (östlich Stuttgart) relativ stark westwärts von der Grundrichtung abweichen, während die tief fliegenden Vögel bei Flaach eine leichte Südabweichung zeigen. Um zu prüfen, ob diese Abweichungen

tatsächlich auf Leitlinienwirkung zurückzuführen sind oder eher zufällig aufgrund der Wetterbedingungen in den entsprechenden Beobachtungsperioden zustandekamen, wurden die Richtungstendenzen an den beiden Orten bei verschiedenen Windrichtungen verglichen. Die Ergebnisse für schwache Seitenwinde sind in Abb.4 dargestellt (weitere Daten vgl. BRUDERER/LIECHTI, in Vorb.).

Die Funktion einer Leitlinie könnte darin bestehen, daß sie generell (auch ohne Winddrift) die Beibehaltung einer mit anderen Mitteln gewählten Richtung erleichtert. Im Falle dieser ersten Hypothese wäre zu erwarten, daß unter verschiedensten Windbedingungen eine gewisse Ausrichtung auf topographische Linien erfolgt, die relativ wenig von der Grundrichtung abweichen. Im Sinne einer zweiten Hypothese könnte eine Leitlinie der Reduktion von Drift dienen. In diesem Falle müßte ihre Wirkung vor allem bei schwachen (kompensierbaren) seitlichen Winden deutlich zu erkennen sein; bei stärkerem Wind, wie auch bei Rücken- und Gegenwinden, wäre eine geringere Ausrichtung auf die Leitlinie zu erwarten.

Die verfügbaren Daten liefern weder an der Schwäbischen Alb noch in Flaach eindeutige Belege für die erste Hypothese (Details dazu bei BRUDERER & LIECHTI, in Vorbereitung).

Die Beobachtungen bei Stuttgart liefern aber recht gute Belege zur zweiten Hypothese. Abb.4 veranschaulicht die Verhältnisse bei schwachem Seitenwind: Bei Stuttgart kompensieren tief fliegende Vögel schwache Winde von links und von rechts vollständig (keine signifikanten Unterschiede in den Flugrichtungen; aber signifikante Unterschiede in den Eigenrichtungen). Die resultierende mittlere Flugrichtung entspricht aber nicht der für Süddeutschland ermittelten Grundrichtung, sondern dem Verlauf des Albrandes (ca. 240°). Bei den hoch fliegenden Vögeln ist vor allem bei Winden von rechts eine bimodale Verteilung mit einer verdrifteten und eine der Alb folgenden Kohorte erkennbar, während bei Winden von links kein Einfluß der Alb feststellbar ist.

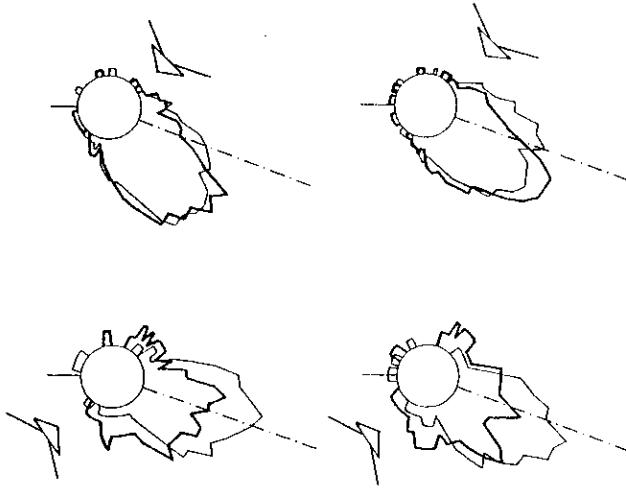
Bei Flaach, wo das Rheintal nur über eine kurze Strecke eine generell SSW-li-

---

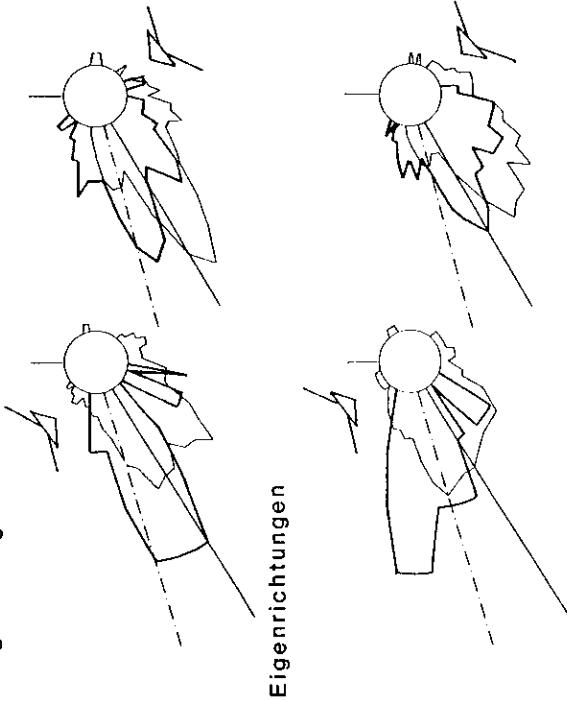
Abb.4: Richtungsspektren der Flug- und Eigenrichtungen bei schwachem Seitenwind bei Stuttgart und Flaach. Berücksichtigt sind Vögel, die unter dem Einfluß von Winden aus 260-30° bzw. 70-200° standen. Die den geglätteten Prozentverteilungen zugrundeliegenden Anzahlen sind : bei Winden von rechts,  $S_t = 26$ ,  $S_h = 204$ ,  $F_t = 111$ ,  $F_h = 259$ .

Die strichpunktierte Linie deutet den lokalen Verlauf des Rheinlaufes bzw. der Alb an, die gestrichelte Linie den großräumigen Verlauf der Alb.

Flaach



Stuttgart



Flugrichtungen

Eigenrichtungen

ABB.4: LEITLINIENEINFLUSS WIND < 5 m/s

Abb.4: Legende vergleiche Vorseite.

che Richtung (ca.  $200^\circ$ ) aufweist und die topographischen Verhältnisse durch den mäandrierenden Rhein kompliziert sind, streuen die Richtungen stark. Die bei schwachem Wind festgestellten Flug- und Eigenrichtungen sind insgesamt südlicher ausgerichtet als die Grundrichtung über Süddeutschland, aber westlicher als aufgrund des lokalen Rheinverlaufes zu erwarten wäre. Die mittleren Eigenrichtungen variieren bei verschiedenen Winden nur wenig um einen Mittelvektor von rund  $220^\circ$  bei tief fliegenden Vögeln und um  $215^\circ$  bei hoch fliegenden Vögeln. Bei Seitenwinden von rechts läßt Abb.4 in beiden Höhenbereichen eine (nicht signifikante) Kompensationstendenz erkennen. Seitenwinde von links werden aber nicht kompensiert (vgl.Kap.2.2.).

Schlußfolgerung: Trotz Gesamtrichtungen, die - vor allem bei tief fliegenden Vögeln - im Sinne einer Anpassung an die vorhandenen Leitlinien von der Grundrichtung in Süddeutschland abweichen, ergeben sich aus dem vorhandenen Material keine klaren Belege für eine generelle Nutzung der beiden Leitlinien unter allen Windbedingungen. Bei schwachen (kompensierbaren) Seitenwinden ist jedoch die Ausrichtung von tief fliegenden Vögeln auf die Leitlinie an der Schwäbischen Alb eindeutig. In Flaach ist sie nur im Falle von Seitenwinden von rechts angedeutet.

### 3. Diskussion.

Zur Methodik: Im Unterschied zu Untersuchungen mit Überwachungsradar, die im wesentlichen auf die Beurteilung von Flugrichtungen ohne Höhenangaben beschränkt sind, werden hier die in drei Dimensionen exakt vermessenen Flugwege einzeln verfolgter Vögel und Windmeßballone bearbeitet. Zeitliche und räumliche Differenzen zwischen Windmeßpunkten und den Meßdaten von Vögeln sind so gering, daß nur sprunghafte Wetteränderungen (z.B.Durchgang einer Kaltfront) zu einer kurzfristigen Unstimmigkeit zwischen den berücksichtigten und den effektiven Winddaten führen könnten. Eine wichtige Einschränkung für die Interpretation der Daten liegt darin, daß für den Vergleich der Richtungsverteilungen in verschiedenen Höhen Vögel aus allen Höhenbereichen ausgewählt wurden; wenn deshalb in Höhen über 1000 m über Radar etwa dieselbe Anzahl Vögel verfolgt wurde wie unter 1000 m beruht dies auf der Zielsetzung, in beiden Bereichen vergleichbare Stichproben zu erreichen, und hat nichts mit der Höhenverteilung der Vögel zu tun. Um eine grobe Schätzung der zahlenmäßigen Bedeutung der in verschiedenen Höhen ziehenden Vögel zu erlauben, erinnern wir daran, daß sich über dem schweizerischen Mittelland im Mittel

etwa 50 % des Nachtzuges unterhalb von 700 m abspielt, und 90 % der Vögel unterhalb von 2000 m über Boden fliegen. Bei schönem Wetter mit Rückenwind oder über einer Hochnebeldecke kann die Hauptmasse der Vögel über 1000 m aufsteigen, während bei schlechtem Wetter die meisten Vögel in den untersten Luftschichten konzentriert sind (BRUDERER, 1971). Weil dem Zug unter 1000 m quantitativ eine größere Bedeutung zukommt als dem hohen Zug, ist in den Graphiken der tiefe Zug stärker betont.

Zu den Grundrichtungen und Ortsunterschieden: Die für Süddeutschland ermittelte Grundrichtung von  $230^\circ$  für tief fliegende Vögel unter topographisch wenig gestörten Bedingungen wird durch LIECHTI (unveröff.), der das Material mit völlig anderen Methoden bearbeitete, bestätigt. Die stärkere Südausrichtung hoch fliegender Vögel bestätigt sich auf anderen Radarstationen im nördlichen Alpenvorland und nimmt mit der Annäherung an den Alpenrand zu (LIECHTI & BRUDERER, 1986; BRUDERER & JENNI, 1989, BRUDERER & JENNI, im Druck). Die Berechnung von Grundrichtungen wird umso problematischer, je kürzer die verfügbaren Beobachtungsperioden sind und je weniger Schwachwindsituationen mit einigermaßen homogener Richtungsverteilung der Winde verfügbar sind. Im vorliegenden Material entsprechen die Daten von Nürnberg den Anforderungen, während die dreiwöchigen Beobachtungsperioden der anderen Radarstandorte durch dominierende Phasen der Wetterentwicklung geprägt sein können und deshalb eine vorsichtiger Interpretation erfordern. Immerhin stimmen die ermittelten Grundrichtungen der tief fliegenden Vögel für Augsburg und Regensburg gut mit derjenigen von Nürnberg überein, und die abweichende Grundrichtung in Stuttgart bleibt auch unter dem Einfluß kompensierbarer Seitenwinde erhalten.

Ein erstaunliches, im Hinblick auf den Anteil von Südostziehern am Zug in Mitteleuropa bedeutsames Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist der äußerst geringe Anteil an südöstlichen Richtungen an den bei Regensburg (rund  $12^\circ$  E) in den Septemberdekaden gemessenen Richtungsspektren bei schwachem Wind. Dieser geringe Anteil an echten SE-Ziehern bestätigt sich auch, wenn die Eigenrichtungen aller verfolgten Vögel (ohne Einschränkung) bezüglich Wind aufgezeichnet werden (s.BRUDERER & JENNI, im Druck). Offenbar ist die Zahl der SE-Zieher wie auch das westlich von  $12^\circ$  liegende Einzugsgebiet von Vögeln mit entsprechender Zugscheide relativ zur Gesamtmasse des Zuges klein. Verstärkt südlich und südöstlich gerichtete Flugrichtungen, wie sie vor allem bei Messungen mit Überwachungsradar als Resultierende von Flug- und Windvektor sichtbar werden (s. etwa BAUMGARTNER & BRUDERER, 1985), be-

ruhen primär auf Windeffekten. Durch die über Süddeutschland häufig aus W-NW wehenden starken Winde wird die Hauptmasse der Flugrichtungen im Gesamtmaterial (Tabelle 1, sowie BRUDERER & JENNI, im Druck) nach Süden oder Südosten abgedreht; die Vögel werden gegen die Alpen verdriftet.

Die vorliegende Arbeit unterstreicht die Notwendigkeit einer äußerst vorsichtigen Interpretation von Überwachungsradar- und kurzen Beobachtungsperioden.

Zum Einfluß des Windes auf Flug- und Eigenrichtungen: Wichtigste Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind a) das Südwärtsdrehen der Eigenrichtungen bei Gegenwind (was zu S- bzw. SW-Verdriftung führt) und b) die weitgehende Konstanz der Flugrichtungen unter dem Einfluß schwacher Winde, die offenbar bis zu seitlichen Windkomponenten von nahezu 5 m/s vollständig kompensiert werden können. Bei stärker werdenden Seitenwinden können die Kompensationstendenzen zwar etwas zunehmen (Eigenrichtungen etwas mehr gegen den Wind gedreht), reichen aber nicht für vollständige Kompensation. Der festgestellte Unterschied in der Kompensation von Seitenwinden von rechts bzw. links muß Gegenstand weiterer Untersuchungen sein; aufgrund der hier vorgeschlagenen Interpretation wäre nach längeren Ostwind-Phasen eine größere Toleranz (d. h. geringere Kompensationstendenz) gegenüber Seitenwinden von rechts zu erwarten. Weitere detaillierte Analysen sind notwendig, um allfällige Unterschiede im Kompensationsverhalten hoch und tief fliegender Vögel aufzudecken. Insgesamt treten in der vorliegenden Auswertung Verhaltensunterschiede in verschiedenen Höhen weniger als erwartet in Erscheinung. Vermutlich sind die in einzelnen Nächten vorhandenen Unterschiede durch das Zusammenfassen langer Perioden mit sich balancierenden Windverhältnissen ausgeglichen.

Was in der vorliegenden Arbeit nur ganz generell angedeutet wurde, ist die quantitative Gewichtung der verschiedenen Verhaltensweisen, d. h. die Fragen nach der Zahl der Vögel, die unter den verschiedenen Windbedingungen in den beiden Höhenbereichen fliegen.

Zum Leitlinieneinfluß: Die Flugrichtungen bei schwachen Winden weichen an der Schwäbischen Alb östlich von Stuttgart und über dem Rhein bei Flaach im Sinne einer Angleichung an vorhandenen Leitlinien von der Grundrichtung in Süddeutschland ab. Die Tatsache, daß die Angleichung an den Verlauf der Alb bei Seitenwinden deutlicher ist als bei Rücken- und Gegenwinden, spricht für eine Nutzung der Leitlinie zur Driftverminderung. Die etwas südwärts gedrehten Flugrichtungen über dem Rhein bei Flaach decken sich nicht mit dem Verlauf des Rheines und zeigen nur bei Seitenwinden von rechts geringe

Tendenz zur Driftkompensation. Daß die Leitlinienwirkung der Alb deutlicher ist und im Gegensatz zur Situation bei Flaach auch bei Seitenwinden von links klar erkennbar ist, mag durch zwei Umstände begünstigt sein: a) der Alb-Rand ist eine sehr klare, über große Distanz mit gleichbleibender Richtung verlaufende Struktur, während der Rhein bei Flaach mäandriert und nur über eine kurze Strecke eine generell SSW-liche Richtung einhält; zudem ragt die Alb rund 400 m über das vorgelagerte Hügelland auf und könnte deshalb für unter 400 m fliegende Vögel auch eine gewisse Hinderniswirkung haben; daß diese Hinderniswirkung nicht allein für die Leitlinienwirkung verantwortlich ist, zeigen die in größerer Höhe parallel zum Albrand fliegenden und die bei Winden von links ebenfalls der Leitlinie folgenden Vögel; b) Die in Kapitel 2.2. geäußerte Hypothese, daß der bei verschiedenen Stationen (darunter auch Flaach) beobachtete Verzicht auf Kompensation der Seitenwinde von links ein Ausgleich für an vorangegangenen Tagen erlittene Drift darstellen könnte, wird durch die Daten von Stuttgart gestützt, indem die Beobachtungsperiode von Stuttgart (22.09.-09.10.) keine NW-Winde und nur zwei Nächte mit W-Winden enthält; dominierend sind Winde aus dem östlichen Halbkreis.

#### 4. Dank.

Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanzierte das Projekt. T.Steuri entwickelte die Registriergeräte und -programme und sorgte für die ständige Betriebsbereitschaft der Radaranlagen. Die Herren Dr.J.Hild und Dr.J.Becker halfen uns sowohl als Vertreter des DAVVL wie auch aus ihrer Position im Amt für Wehrgeophysik bei der Bewältigung der administrativen Vorbereitungen. Den Gemeinden Lehrberg, Painten, Ohmden, Hirblingen und Flaach danken wir für die freundliche Aufnahme und die stete Hilfsbereitschaft, die wir von Seiten der Behörden wie auch von einzelnen Einwohnern genießen durften. Ganz besonderer Dank gebührt allen, die als freiwillige Mitarbeiter nächtelang am Radar ausgeharrt und unter z.T. schwierigen Bedingungen wertvolle Arbeit geleistet haben. Unseren Kollegen an der Vogelwarte, L.Jenni, C.Marti, B.Naef-Daenzer und L.Schifferli danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und wertvolle Verbesserungsvorschläge.

5. Literatur.

- BATSCHÉLET, E. (1981) : Circular Statistics in Biology. Academic Press.
- BAUMGARTNER, M. & BRUDERER, B. (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.
- BRUDERER, B. (1969) : Zur Registrierung und Interpretation von Echosignaturen an einem 3 cm-Zielverfolgungsradar. Orn. Beob.66:70-88.
- BRUDERER, B. (1971) : Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizer Mittelland. Orn.Beob.68:89-158.
- BRUDERER, B. & L. JENNI (1988) : Vogelzug. Bericht 1988 der Schweiz.Vogelwarte zuhanden der "Gemeinschaft der Freunde der Vogelwarte", 40 pp.
- BRUDERER, B. & L. JENNI (1989) : Strategies of Bird Migration in the Area of the Alps. Acta XIX Congr.Int.Orn., Ottawa: 2150-2161.
- BRUDERER, B. & L. JENNI (im Druck) : Migration across the Alps. Symposium on Physiol. and Ecophysiol.Aspects of Bird Migration. Tutzing 1988.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (in Vorb.) : Richtungen des Vogelzuges in Süddeutschland und im Schweizerischen Mittelland. Orn.Beob.
- GEYR VON SCHWEPPENBURG, H. FRH. (1949) : Zur Theorie der Zugrichtungen. Ardea 36:219-257.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Bruno Bruderer  
Felix Liechti  
Dorothee Erich  
Schweizerische Vogelwarte  
CH-6204 Sempach