

Beim Erscheinen dieser „angreifenden“ Jungvögel macht übrigens Paar A. am 14. September, also lange nach der Brutzeit, die sogenannte Nisttriebhandlung, und auf Platz B, wo von den Eltern allein das ♀ anwesend ist, macht dieses die Nisttriebhandlung ganz allein, worauf besonders hingewiesen sei. — Ich muß es mir aus Zeitmangel leider versagen, auf die hervorragende Bedeutung der Nisttriebhandlung als Trutzhandlung und ihre sehr häufige Ausführung, auch vor und nach der Brutzeit, näher einzugehen. So müssen auch manche anderen ethologischen Fragen und Beobachtungen unerwähnt bleiben.

Zum Abschluß möchte ich nur noch eine Beobachtung vom Verhalten der Geschlechter zueinander und zwar bei der Brutablösung bringen, zugleich als Beispiel für die gute Beobachtungsmöglichkeit: Das ♂ A brütet, hat den Kopf im Gefieder und schläft. Das ♀ A kommt herbei, mit lautem, den Ablösungswillen bekundenden „Nestruf“, doch das ♂ schläft weiter. Das ♀ kommt bis unmittelbar aufs Nest und ruft wiederholt, aber das ♂ „merkt nichts“. Schließlich fliegt das ♀ ab, und dann nimmt das ♂ schnell einmal den Kopf aus dem Gefieder und sieht dem ♀ nach.

Diese Untersuchungen an unserer kleinen Silbermöwenpopulation und an den bekannten Einzeltieren sollen natürlich fortgesetzt werden. Wir wollen nur hoffen, daß dieser Brutplatz und seine gute Beobachtungsmöglichkeit erhalten bleiben, und daß nicht die Gewinnung von Eisenschrott und die hierbei geübte Sprengtätigkeit (übrigens von deutscher Seite) für wichtiger gehalten wird als wissenschaftliche Untersuchungen und die Arbeitsmöglichkeit und Unversehrtheit der Vogelwarte.

## Über die Ursachen des Formationsfluges<sup>1)</sup>

Von Ludwig Franzisket

Eine Begründung der auffälligen Erscheinung mancher Vogelschwärme, beim Fluge in einer exakten Ordnung formiert zu fliegen, wird allgemein in der Annahme gesucht, daß die vom vorausfliegenden Vogel erzeugten Strömungsverhältnisse dem folgenden Artgenossen eine Erleichterung seiner Flugarbeit bieten.

ALTUM (1911) gab folgende Erklärung für die Flugordnung: „Wenn sich fliegende Vögel folgen, so befinden sich alle, mit Ausnahme des ersten, gegen einen künstlich erzeugten Luftstrom, der Welle auf Welle gegen sie andrängt, und zwar, da alle im gleichen Takt rudern, bei jedem Niederschlage nur von unten her gegen sie andringt, folglich ein Moment der Hebung des Vogels bietet“. Durch die Übernahme dieses Zitates in das Handbuch der Zoologie VII, Aves, von E. STRESEMANN (1934) kann diese Erklärung noch als derzeitige Lehrmeinung über dieses Problem gelten. Eine Ergänzung zu der ALTUMSchen Hypothese versucht W. R. ECKARDT (1919), indem er auf die Keilformation als „aeromechanisch untrennbares Ganzes“ die physikalischen Gesetze der Keilwirkung anwendet. Aus Ergebnissen der Strömungsversuche PRANDTL'S (1913) am stillstehenden Flügel zieht C. WIESELBERGER (1914) Schlüsse auf aerodynamische Vorteile beim Formationsflug. Die Hypothese von STOLPE und ZIMMER (1939) nimmt in ähnlicher Form aerodynamische Vorteile an, die der folgende Vogel durch die Flügelströmung seines Vorausfliegers erhält. In neuester Zeit stellt GEYR VON SCHWEPENBURG (1949) zwar fest, daß man sich allgemein über die aerodynamischen Vorteile einig sei („Entstehung von Randwirbeln und Aufwinden, die dem Spitzenflieger nicht, wohl aber jedem der folgenden Glieder des Flugverbandes von Nutzen sind“, S. 265), konnte aber selbst bei seinen jahrzehntelangen Feldbeobachtungen die so oft erwähnten Argumente für diese Theorie, den Wechsel des Spitzenfliegers oder den Seitenwechsel, „kaum je beobachten“.

<sup>1)</sup> Vortrag auf der Jahresversammlung der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft am 13. Mai 1951 in Wilhelmshaven.

Eine Untersuchung der Hypothese ALTUMS zeigte rasch ihre Unhaltbarkeit: Der vom vorausfliegenden Vogel künstlich erzeugte Luftstrom kann dem folgenden Vogel nichts nützen. Vorausgesetzt, es gäbe wirklich einen künstlich erzeugten gleichmäßigen Luftstrom dieser Art, so würde die Überwindung seines Widerstandes dem folgenden Vogel mehr zum Schaden als zum Vorteil sein, denn er erzeugt einen zum normalen Fahrtwind größeren Widerstand, der durch Muskelleistung überwunden werden muß, um den Anschluß an den vorausfliegenden Vogel aufrechtzuerhalten. Die von ALTUM postulierte Wellen in diesem Luftstrom gibt es nicht. Hinter dem Flügel entstehen Wirbel. Auch die Behauptung, daß alle im gleichen Takt rudern, hält einer Prüfung nicht stand. Zwar ist die Flügelschlagfrequenz bei gleichen Arten annähernd gleich, und es kann infolgedessen sicher einmal der Eindruck eines Gleichtaktes entstehen, zur Erfüllung der ALTUMSchen Forderung auf Ausnützung der Aufwärtskomponente einer hypothetischen Welle müßte aber jeder Vogel ständig einen konstanten Abstand vom Vordermann halten und eine entsprechende Phasenverschiebung seiner Flügelstellung gegen diejenige des Vordermannes zeigen. Das trifft aber bei allen untersuchten Abbildungen und bei Beobachtungen von Flugformationen nicht zu.

Die ECKARDTSche Keilwirkungstheorie überträgt recht unkritisch die für einen glatten, festen, keilförmigen Körper gültigen Gesetze der schiefen Ebene auf einen aus einzelnen Vögeln zusammengesetzten Formationskeil. Nach ECKARDT müßte die Luft an dem „aeromechanisch untrennbaren Ganzen“ des Formationskeiles und damit also an den Außenseiten der Vögel abfließen. Das würde bedeuten, daß die Luftmasse im Innern des Formationskeiles mit dem Vogelschwarm mitwanderte. die Flügel, die nach innen ragen, also nicht umströmen würde, wodurch jeder Vogel unweigerlich herunterfallen würde.

Die Hypothese WIESELSBERGERS, die von STOLPE und ZIMMER für seitlich gestaffelt hintereinander fliegende Vögel übernommen wurde, ist zwar auf experimentelle Grundlage gestellt, jedoch infolge Außerachtlassung einer wichtigen Bedingung speziell beim Flügelschlag ebenso anfechtbar. Die Darstellung der Strömungsverhältnisse hinter der Spitze eines Flügels (Randwirbel, Wirbelzöpfe) ist richtig, aber nur für einen Flug mit unbewegten Flügeln in dieser Form gültig. Wenn im Bereich der Flügelspitzen dauernd auf der Flügeloberseite Unterdruck und auf der Flügelunterseite Überdruck herrschen, ist die Ausbildung eines konstanten Wirbelzopfes, dessen äußeres Gebiet eine Aufwärtskomponente hat, nachzuweisen (siehe Abb. 1). Eine solche Bedingung könnte dem folgenden Vogel für einen räumlich begrenzten Bereich

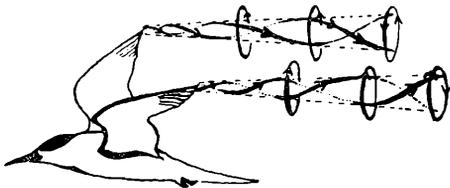


Abb. 1. Drehsinn der Wirbelzöpfe bei unbewegter Flügelstellung und beim Flügelabschlag.

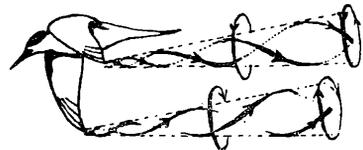


Abb. 2. Wirbelzöpfe beim Aufwärtsschlag der Flügel.

eines Flügels eine zusätzliche Auftriebskomponente liefern. Beim Flügelschlag aber herrschen während des Aufwärtsschlages auf der Handschwingeroberseite Überdruck und auf der Unterseite Unterdruck (E. v. HOLST, 1943). Da sich also beim Aufwärtsschlag die Druckverhältnisse umkehren, kehrt sich auch die Drehung des Randwirbels um (Abb. 2). Zwar ist die Wirbelbildung beim Flügelabschlag wesentlich stärker als beim aufwärts geführten Flügelschlag, aber diese Folge im Drehsinn entgegengerichteter Wirbel von kleiner räumlicher Ausdehnung kann unter keinen Um-

ständen die Ausbildung einer dauernden Aufwindzone seitlich hinter dem Flügel erzeugen, wie sie von STOLPE und ZIMMER (S. 129) als tragende Kraft für den folgenden Vogel in Anspruch genommen wird. Im Gegenteil, der aerodynamische Nutzeffekt eines Profils wird in verwirbelter Strömung immer stark herabgesetzt. Damit bricht diese Hypothese zusammen, und alle weiteren Erörterungen über Abstand der Vögel, über das Hineinlangen mit einem Flügel in die Aufwindzone des voranfliegenden Tieres und über das Wechseln der Seiten rechts und links fliegender Vögel in der Formation sind zu ihrer Stützung hinfällig. Die angenommene Aufwindzone seitlich hinter einem Vogel könnte nur beim Flügelabschlag des Vordertieres vorhanden sein, sie verwandelte sich beim Flügelaufschlag in eine Abwindzone.

Es ließe sich unter Berücksichtigung der tatsächlichen Strömungsverhältnisse noch eine weitere, bisher noch nicht geäußerte Hypothese für die Annahme aerodynamisch erzeugter Vorteile anführen. Um sie als ferneren Einwand auszuschalten, sei sie hier kurz aufgestellt und widerlegt: Die an den Flügelspitzen entstehenden Wirbel könnten die eine, in diesem Bereich auf und abschwingende Handschwinge des folgenden Vogels bei entsprechendem Gleichtakt so anströmen, daß die Wirbelströmungen dem durch den Auf- und Abschlag an der Handschwinge auftretenden Strom der ruhenden Luft entgegenkäme. Beim Flug in unverwirbelter Luft werden die an der Handschwinge entstehenden Luftkräfte durch den Auf- und Abschlag des Flügels so erzeugt, daß beim Aufschlag die Luft von oben vorne, beim Abschlag von unten vorne den Handflügel umströmt. Nehmen wir jetzt an, die Handschwinge bewege sich im äußeren Teil des Randwirbels des Vordermannes, so strömt dort die Luft des Wirbels durch dessen Abschlag von unten nach oben. Vollführt der folgende Vogel in dieser Aufwärtsströmung ebenfalls den Flügelabschlag, so verstärken sich die Luftkräfte gegenüber einem Flügelabschlag in unbewegter Luft. Es bedeuten diese Verhältnisse eine Erhöhung des Vortriebes und Auftriebes für den Vogel. Der jetzt folgende Flügelaufschlag würde bei gleicher Schlagfrequenz beider Vögel im jetzt umgekehrt gerichteten Luftstrom des Randwirbels des Vordermannes erfolgen. Daß heißt, der aufwärts schlagende Flügel wird ebenfalls verstärkt und zwar von oben angeströmt, und die an ihm entstehenden verstärkten Luftkräfte würden gegenüber ruhiger Luft einen erhöhten Vortrieb, allerdings auch erhöhten Abtrieb erzielen. Insgesamt resultiert jedoch dabei ein Überwiegen der tragenden und eine Summierung der vorwärtstreibenden Luftkräfte. Nützen würden jedoch diese Bedingungen dem Vogel nichts, denn sie bieten keine Erleichterung der Flugarbeit. Die Arbeit der Muskeln zur Übertragung der am Flügel entstehenden Kräfte auf den Körper wird nämlich ebenfalls erhöht. Die unter diesen Bedingungen erforderliche Leistung gleicht damit vollständig einem verstärkten Flügelschlag in ruhiger Luft, bei dem durch erhöhte Muskelleistung die Schlagfrequenz erhöht, die Flügelbewegung in der Luft schneller, entsprechend die Umströmung des Flügels rascher und die entstehenden Luftkräfte größer würden.

Gegen die Annahme einer Arbeitserleichterung für nur einen Flügel spricht auch die daraus entstehende Asymmetrie der Kräfteverhältnisse am Vogelkörper. Es würde dies eine asymmetrische motorische Leistung der Bewegungskoordination voraussetzen, die im ganzen Wirbeltierreich in so ausgesprochener Form nicht vorkommt. Schließlich sei noch hingewiesen auf die Luftströmung hinter der Armschwinge, deren Druckverhältnisse sich beim Flügelschlag nicht umkehren. Auch diese Strömung ist nicht geeignet, einem folgenden Vogel einen aerodynamischen Nutzen zu liefern, da sie nach unten gerichtet ist.

Diese Erörterungen führen zu dem Schluß, daß die Strömungsverhältnisse unmittelbar hinter einem ruderfliegenden Vogel immer von Nachteil für einen in dieser Strömung folgenden Vogel sind.

Es ist sehr schwer und vielleicht überhaupt unmöglich, direkt messende Versuche über den Formationsflug der Vögel zu machen. Die einzige Möglichkeit empirischer Aussage zu diesem Problem scheint mir eine vergleichende Übertragung der Erfahrungen aus dem menschlichen Formationsflug auf die Flugformation der Vögel. Auf Grund zehnjähriger Praxis im Flugzeugformationsflug glaube ich entsprechende Erfahrungen liefern zu können.

Als erstes sei die aus den theoretischen Erörterungen abgeleitete Behauptung, daß unmittelbar hinter einem Flügel nachteilige Strömungsverhältnisse für einen folgenden Flügel herrschen, an diesen Erfahrungen geprüft. Die Erscheinung, daß

beim Flug im Luftschraubenstrom eines vorausfliegenden Flugzeuges das folgende Flugzeug sehr starke Schleuderbewegungen um die Längsachse macht, erscheint bei der außerordentlich turbulenten Strömung, die ein Propeller hervorruft, selbstverständlich. Aber auch außerhalb des Luftschraubenstroms, ja selbst beim Formationsflug mit Segelflugzeugen ist stets festzustellen, daß ein Flügel des eigenen Flugzeuges, der nahe hinter dem Flügel eines anderen Flugzeuges in dessen Strömung gerät, wie es beim Keilflug seitlich hinter dem Vordermann geschehen kann, nach unten gedrückt wird. Hierdurch wird das Flugzeug um seine Längsachse seitlich auf den Vordermann zu gekippt. Bezeichnend ist, daß dabei die Reaktion des Flugzeuges auf einen korrigierenden Ausschlag der Querrudersteuerflächen (am Ende der Flügel) außerordentlich träge ist, was darauf schließen läßt, daß die Strömung an der Steuerfläche des Flügels, der in das Strömungsgebiet des Vordermannes hineinreicht, nicht normal ist und keine Steuerwirkung hervorruft. Aus diesen allgemein bekannten Erfahrungen wird beim Formationsflug mit Flugzeugen immer eine solche Position eingenommen, die die Sicherheit gibt, daß die eigenen Flügel nicht in die Strömung des Vordermannes hineinragen. Dazu fliegt das folgende Flugzeug seitlich gestaffelt oder in der Höhe gestuft hinter dem Vordermann.

Diese Erfahrung auf die Vogelwelt übertragen, läßt die Behauptung zu: Der Formationsflug ist die Flugform, die es einem Schwarm großer Vögel am zuverlässigsten gestattet, sehr dicht zusammen zu fliegen, ohne daß ein Schwarmmitglied von den Wirbeln eines Vorausfliegenden gestört wird. Es verhält sich demnach genau umgekehrt wie angenommen. Nicht das Fliegen in der vom Vordermann erzeugten Strömung, sondern die Notwendigkeit, diese Strömung zu meiden, führt zu der auffälligen Ordnung des Formationsfluges.

Die Richtigkeit dieser Behauptung, für die alle aerodynamischen Bedingungen sprechen, ist nun an den ökologischen und sinnesphysiologischen Bedingungen der Vogelwanderung zu prüfen. Wenn das dichte Zusammenfliegen im Schwarm die besondere Instinktleistung des Formationsfluges erfordert, so ist Voraussetzung, daß dem Schwarmflug ein selektiver Vorteil zugrundeliegt. GEYR VON SCHWEPPENBURG (1919, S. 264) ist zwar der Ansicht, daß gesellige Wanderung keine besonderen Vorteile bietet. Er nimmt nur eine durch Geselligkeit hervorgerufene Erleichterung des Zuges durch gemeinsamen rechtzeitigen Aufbruch, Führung, Erkennen thermischer Aufwindräume usw. an. Doch ist in dem Schutz, der Vogelschwärmen oder Herden von Steppentieren auf Wanderungen durch ihre Geselligkeit geboten ist, ein Vorteil zu erkennen. Besonders naheliegend erscheint die verstärkte Abwehrfähigkeit einer größeren Zahl wenig wehrhafter Tiere. Ein weiterer Faktor wird erst bei statistischer Betrachtung augenfällig: Bei einmaligem Durchziehen einer großen Schar von Tieren durch eine Reihe hintereinanderliegender Feindreviere werden wesentlich weniger Tiere Räubern zum Opfer fallen als bei örtlich oder zeitlich isolierter Wanderung, denn schließlich kann ein Raubtier beim Durchzug eines Schwarmes durch sein Revier nur ein Beutetier schlagen. Ein dritter recht wichtiger Grund für die Vogel-schwarmbildung ist der auch im Flugzeugverbandsflug erkannte Vorteil eines gegenseitigen Warnschutzes, indem durch gemeinsame Beobachtung des Luftraumes das frühzeitige Erkennen von Feinden gesichert wird. Das beim Flug außerordentlich weite Beobachtungsfeld wird beim Formationsflug von vielen Augen abgesehen, wobei ganz von selbst eine Arbeitsteilung eintritt insofern, als besonders beim Keilflug jeder Vogel (oder Flieger) den Sektor beobachtet, der jenseits des Anschlußmannes an den er sich optisch hält, liegt.

Soweit die Vorteile der Individuenansammlung an sich. Es soll nun untersucht werden, warum gerade beim Flug ein so nahes Zusammenschließen zu einer Ordnung stattfindet und warum dieses Zusammenschließen am häufigsten gerade zu der Keilform führt.

In der Luft sind die optischen Bedingungen zum Einhalten einer bestimmten Entfernung zu einem anderen fliegenden Körper sehr ungünstig. Es fällt hier das wichtigste Hilfsmittel für das Abschätzen der Entfernung eines Gegenstandes fort, nämlich sein Größenvergleich mit den kontinuierlich bis zu ihm hin kleiner werdenden übrigen Gegenständen innerhalb des Sehfeldes. Besonders fehlt in der Luft auch die Kulissenhaftigkeit des Raumes, wie sie beim Sehfeld auf der Erde vorhanden ist. Es bleiben lediglich die absolute Größe des Netzhautbildes, die binokulare Tiefenwahrnehmung und die Wirkung der Akkomodation als Wahrnehmungen zur Entfernungsschätzung. Diese Faktoren liefern nur bei nahen Entfernungen überschwellige Perzeptionen kleinerer Entfernungsänderungen der betrachteten Gegenstände, denn der Tangens des Seh winkels und des Konvergenzwinkels ist umgekehrt proportional der Entfernung. Das heißt, je größer die Entfernung, desto geringer ist die Winkeländerung, die eine gleiche Veränderung der Entfernung hervorruft. Demnach sind die sinnesphysiologischen Bedingungen für das Halten einer gleichbleibenden Entfernung am günstigsten bei dicht aufgeschlossenem Formationsflug. Diese Bedingungen hängen nicht von der Leistungsfähigkeit der Sinnesorgane, sondern von den Winkelverhältnissen ab, dürfen also auf den Vogel übertragen werden.

Auch für das Innehalten der eigenen Position im Verband ist die nahe Entfernung von Vorteil. Den besten „optischen Halt“ am Anschlußmann gegen Veränderung der eigenen Position nach vorne, hinten, rechts oder links gibt die mit diesen Positionsänderungen verbundene Veränderung des Bildes, das man vom Anschlußmann sieht. Diese Bildänderungen sind ebenso von Winkelveränderungen abhängig, deren Größe sich mit zunehmender Entfernung umgekehrt proportional der Tangensfunktion der betreffenden Winkel verhalten.

Fliegt man unmittelbar hinter dem Anschlußmann, wobei zur Vermeidung seiner Wirbel eine Höhen- oder Tiefenstufung eingehalten wird, so wird bei einer eigenen Positionsänderung nach rechts oder links das Bild des Anschlußmannes stark verändert, so daß die Abweichung aus der Position sehr leicht wahrgenommen wird. Es ist in dieser Position aber viel schwerer abzuschätzen, ob man näher oder ferner ist. Dagegen ist beim Fluge in Linie genau nebeneinander am besten die Positionsänderung nach vorn oder hinten an der Veränderung des Bildes, das man von seinem Anschlußmann sieht, zu erkennen. Doch ist bei dieser Flugform der seitliche Abstand schwer einzuhalten, da sich bei Veränderungen des seitlichen Abstandes nur die Bildgröße, nicht aber die Bildform des Nebenmannes verändert. Beide Vorteile, nämlich einen guten optischen Halt für Veränderungen der eigenen Position nach vorn oder hinten ebenso wie nach rechts oder links, bietet die Position, bei der man seitlich hinter dem Anschlußmann fliegt. Diese Flugform führt zu dem bekannten Keilflug, der auf langen Flügen ebenso von Vögeln wie von Fliegern unverhältnismäßig häufiger durchgeführt wird als alle anderen Flugformationen. Jeder Flugzeugführer empfindet diese Flugform, ohne sich über ihre sinnesphysiologischen Gründe klar zu sein, als bequemste. Da auch diese optischen Bedingungen für einen Vogel die gleichen sind wie für einen Menschen, läßt sich diese für den Menschen ausschließlich maßgebende Ursache zur Bildung der Keilformation ohne weiteres auf den Vogel übertragen. Ja, für den Vogel sind manche sinnesphysiologische Bedingungen in der Keilformation sicher günstiger als für den Menschen. Einmal kann der Vogel bei Kopfstellung in Flugrichtung das Bild des seitlich vor ihm fliegenden Anschlußmannes auf seiner *Fovea centralis* scharf sehen, da die Sehachse normalerweise nach seitlich vorne gerichtet ist, während der Mensch immer seinen Kopf zum Anschlußmann wenden muß. Zum anderen ist beim Vogel für die Regulation der Motorik zum Innehalten der richtigen Position wohl eine optokinetische Reaktionsfähigkeit (ähnlich dem Frosch im Streifenzyylinder) anzunehmen, die als angeborene zentralnervöse Schaltung den geringen Aufwand reflektorischer Reaktion erlaubt.

Über die Größe des Winkels der Keilformation hat R. PONCY (1941) auf Grund jahrelanger Beobachtungen eine Hypothese aufgestellt, die annimmt, daß die Dimensionen des Vogelkörpers hinsichtlich Halslänge und Flügelspanne die Winkelgröße bestimmen. Bei ganz engem Formationsflug werden die Verhältnisse dieser Organlängen sicher eine Rolle spielen, ebenso wie auch bei Flugzeugen die Länge der Flügel und die Lage des Führersitzes im Rumpf (als optisches Sinnesorgan) bei engstem Verbandsflug den Winkel der Keilform bestimmen.

Es ist nun zu erörtern, wie die in der Literatur immer wieder erwähnten Behauptungen, von Zeit zu Zeit werde das Spitzentier ausgetauscht und die Folgenden würden von der linken auf die rechte Seite und umgekehrt wechseln, mit Erfahrungen des Verbandsfluges zu vereinbaren sind. Abgesehen davon, daß ich beide Behauptungen für nicht erwiesen halte (vgl. auch GEYR VON SCHWEPPEBURG 1949, S. 266), da offensichtlich immer ein Autor die Vermutungen des vorigen mit einem Zuwachs an Wahrscheinlichkeit dargestellt hat, kann man aus den Erfahrungen des Flugzeugverbandsfluges zumindest für den Seitenwechsel eine sehr klare Deutung finden. Wenn der Verband eine große Breite hat, so müßten bei Kurven die Außenfliegenden einen bedeutend größeren, die Innenfliegenden einen wesentlich kleineren Weg zurücklegen als die führende Spitze des Verbandes. Aus diesen Gründen fliegen ebensowohl Flugzeuge wie auch Vögel bei solchen Gelegenheiten eine sogenannte „Hinterschneidekurve“ (Abb. 3), wobei jeder den annähernd gleichen Weg zurücklegt aber seine Seite im Verband wechselt. Daß dabei dann auch manchmal das Spitzentier überholt werden kann und ein anderer Vogel weiter führt, ist wahrscheinlich. Bei Kranichen z. B. wurden solche „Ablösungen“ immer nur in Verbindung mit einem Kreisen des Schwarmes beobachtet. Daher wird von manchen Beobachtern als Ursache für das Kreisen der Kraniche direkt das Ablösen angegeben (vgl. W. LIBBERT, 1936). Ein gesetzmäßiges Auswechseln zur Erholung, wie es bei Annahme der Flugerleichterung durch Strömungsvorteile beobachtbar sein müßte, ist jedoch nicht nachgewiesen. Bei Starenschwärmen ist z. B. zu beobachten, daß nach Schwenkungen diejenigen Tiere der Seite, nach der die Schwenkung ausgeführt wurde, nunmehr an der Spitze fliegen.

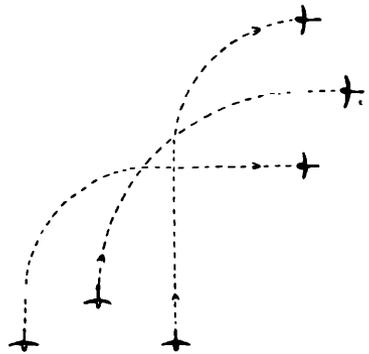


Abb. 3. Hinterschneidekurve bei einem Verband großer Frontbreite.

Viel wichtiger erscheint die Frage, warum kleine Vögel, wie z. B. Stare, oft in sehr großen Schwärmen ohne einheitliche Ordnung dennoch dicht beieinander fliegen. Zu ihrer Klärung führt die Feststellung, daß die Wirkung der vom Flügel hervorgerufenen Strömung bei kleinen Vögeln eine sehr viel kleinere räumliche Ausdehnung hinter dem Tier besitzt als bei großen Vögeln. Die Bedingungen für die optischen Perceptionen bleiben aber in ihrer räumlichen Ausdehnung annähernd gleich groß, da kleine Vögel einmal relativ sehr viel größere Augen haben als große, und zweitens die Sehwinkelverhältnisse nur von der Entfernung abhängen. Demnach können kleine Vögel in einem gleichen Abstand der Schwarmgenossen untereinander fliegen wie große Vögel, ohne daß die Gefahr eines Verlustes des optischen Haltes eintritt, der den Verband sprengen würde. Dabei hat jeder kleine Vogel innerhalb des Schwarmes einen wesentlich größeren wirbelfreien Raum für seinen Flug zur Verfügung, der ihn nicht in eine feste Position zwingt. Dennoch ist gerade bei großen Starenschwärmen zu beobachten, daß die Tiere viel mehr über- und nebeneinander fliegen als hintereinander, was seine Ursache ebenfalls in dem Bestreben hat, in wirbelfreier Luft zu fliegen.

Besonders verblüfft bei Starenschwärmen den Beobachter immer wieder die Augenblicklichkeit der Richtungsänderungen. Bei Schwärmen mit einer Ausdehnung von 100 m und mehr reicht die im Vergleich zum Menschen sehr viel kürzere Reaktionszeit der Vögel zur Erklärung dieses Phänomens nicht aus. Die Richtungsänderung der Spitze müßte bis zu weit entfernten Punkten mit einer beobachtbaren Verzögerung weitergegeben werden, denn es ist nicht anzunehmen, daß alle Tiere in jeder Sekunde die Flugrichtung eines Spitzentieres im Auge haben. Es ist wahrscheinlicher, daß sich jeder optisch an seine Nachbarn hält. Auch für dieses Phänomen bietet sich eine Deutung durch den Vergleich mit einer Erfahrung aus dem Flugzeugverbandsflug: Bei sehr langer Gewöhnung an das Fliegen in enger Position reagiert man bei Richtungsänderungen schon dann, wenn man am Flugzeug seines Anschlußmannes den Ausschlag der Steuerflächen beobachtet, der die Richtungsänderung hervorrufen soll. Bei Richtungsänderungen werden die Querruderflächen ausgeschlagen, eine Bewegung, die zwar nur wenige Zentimeter beträgt, die aber, da durch sie das Bild der Linien an der Flügelhinterkante plötzlich verändert wird, recht auffällig ist. Das Flugzeug hinkt mit seiner Reaktion dem Ausschlag um wenig nach, so daß schon durch den Steuerausschlag die Intention der folgenden Richtungsänderung des Flugzeuges beobachtbar ist.

Diese Erfahrung erlaubt auch für die Richtungsänderungen der Vogelschwärme vorausgehende Intentionsbewegungen anzunehmen, wie sie ja z. B. für das gemeinsame Auffliegen von Enten seit langem nachgewiesen sind. Eigene Beobachtungen an fliegenden Enten deuten darauf hin, daß besonders Kopfwendungen, die den Richtungsänderungen vorausgehen, die adäquaten Intentionsbewegungen sein könnten.

### Zusammenfassung

1. Die in der Literatur bekannten Hypothesen, die allgemein einen aerodynamischen Vorteil beim Formationsflug annehmen, werden anhand der Darstellung der hinter einem flügelschlagenden Vogel herrschenden Strömungsverhältnisse widerlegt.
2. Erfahrungen aus dem Formationsflug mit Flugzeugen erweisen, daß die Strömungsverhältnisse hinter einem Flügel nicht geeignet sind, einem folgenden Flügel aerodynamische Vorteile zu bieten. Sie sind für Steuerung und Stabilität des folgenden Flugzeuges von Nachteil.
3. Die Ursachen für den Formationsflug werden wie folgt gefunden:
  - a) Das Zusammenfliegen in Schwärmen bietet an sich besonders auf Wanderungen Schutz.
  - b) Eine Flugordnung mit dem Einhalten fester Positionen im Verband sichert jedem Vogel bei dichtem Zusammenfliegen wirbelfreie Luft.
  - c) Die Bedingungen für die optischen Perzeptionen zur Aufrechterhaltung der Flugformation sind bei engem Verbandsflug und beim Keilflug am günstigsten.
4. Es wird angenommen, daß die Gleichzeitigkeit der Richtungsänderungen aller Einzeltiere in einem großen Schwarm durch Intentionsbewegung während des Fluges hervorgerufen wird.

### Literatur

- ALTUM, B.: Der Vogel und sein Leben. 10. Aufl. Münster 1911.  
 ECKARDT, W. R.: Warum ziehen größere Vögel in der bekannten Keilform? Orn. Mon.-ber. 27. S. 45 (1919).  
 GEYR VON SCHWEPPENBURG, H.: Zugeselligkeit, in: Ornithologie als biologische Wissenschaft, Heidelberg 1949, S. 261.  
 HOLST, E. v.: Über „künstliche Vögel“ als Mittel zum Studium des Vogelflugs. J. f. Ornith. 91, S. 406 (1943).  
 LIBBERT, W.: Der Zug der Kraniche, J. f. Ornith. 84, S. 292 (1936).

PONCY, R.: Formations angulaires des vols des quelques espèces d'Oiseau migrateurs et les reactions observées (particulièrement chez les Canards). Ornith. Beob. Bern 38, S. 18 (1941).

PRANDTL, L.: Flüssigkeitsbewegungen, im Handwörterbuch der Naturw. Bd. IV S. 101 (1913).

STOLPE und ZIMMER: Der Vogelflug, Leipzig 1939.

STRESEMANN, E.: Aves, Handbuch der Zool. VII, 1934.

WACHS, H.: Die Wanderungen der Vögel, Erg. d. Biol. I. S. 479 (1926).

WIESELSBERGER, C.: Ein Beitrag zur Erklärung des Winkelfluges einiger Zugvögel. 1. Flugtechn. u. Motorluftschiffahrt, 5. S. 225, (1914).

Aus dem Max-Planck-Institut für Meeresbiologie Wilhelmshaven

## Versuche zur Wahrnehmung von Ultrakurzwellen durch Vögel<sup>1)</sup>

Von Gustav Kramer

In die Durchführung dieser Versuche teilten sich Frl. Dr. VON ST. PAUL und der Schreiber. FRAU LORE MITTELSTAEDT hatte vorbereitende Erfahrungen gesammelt. — Herr GERHARD HUHN war erfinderisch und unermüdlich in der Verbesserung und Instandhaltung der Versuchsanordnung.

DROST<sup>2)</sup> (1) Mitteilung über die Reaktion von Vögeln auf Radarstrahlen hatte etwas Alarmierendes unter zweierlei Gesichtspunkten.

1. Vom Standpunkt der allgemeinen Reizphysiologie aus. Hiervon soll in dieser Darstellung nicht weiter die Rede sein.

2. Von einem spezielleren, oekologischen Standpunkt aus. Elektromagnetische Wellen, u. a. von ähnlicher Frequenz wie diejenigen, welche bei den DROSTschen Beobachtungen zur Anwendung kamen, werden auch von der Sonne und anderen Gestirnen ausgestrahlt.

Das allgemein physiologische Interesse der Grundfeststellung bleibt in gewissem Umfang auch dann bestehen, wenn dahingestellt bleiben muß, ob die beobachteten Vögel auf die eigentliche, hochfrequente Radio-Strahlung ansprachen, oder aber auf die Impulsfolgefrequenz, in deren Rhythmus die kontinuierliche Trägerfrequenz zur Erzielung höherer Intensitäten zerhackt wird, wie SCHWARTZKOPFF (2) vermutet.

Dagegen bleiben die beobachteten Reaktionen für die oekologische Fragestellung nur solange interessant, als die Möglichkeit besteht, daß solche Eigenschaften der Radarstrahlen wirksam sind, die sie mit den aus dem Kosmos gesandten Radiowellen gemeinsam haben.

Bei unserer verzweifelten Ahnungslosigkeit über die Orientierungsmethode nächtlich ziehender Vögel müssen wir jeden Hinweis auf mögliche steuernde Faktoren auf seinen Gehalt prüfen. Diese Überlegung war es, die uns zu dem ziemlich dornenvollen Unternehmen bewog, nächtlich ziehende Singvögel, und zwar Rotrückwürger (*Lanius collurio* L.), mittels der Dressurmethode auf Dezimeterwellen, die von einem schwachen Meßsender kontinuierlich abgestrahlt wurden, zu dressieren<sup>2)</sup>.

Der Erfolg war, um es vorwegzunehmen, negativ.

Wir wurden von dem Institut für Ionosphärenforschung in der Max-Planck-Gesellschaft, Lindau, unterstützt. Dem Leiter des Institutes, Herrn Dr. DIEMINGER, und dem Erbauer des Senders, Herrn HOFFMANN-HEYDEN, danken wir für Hilfe und Beratung.

### Methodisches.

Das Sendegerät strahlte mit einer Frequenz von 520 MHz (= 57,7 cm Wellenlänge). Die von der Antenne abgestrahlte Energie entsprach 3—6 W. (Angaben über die erzeugte Feldstärke finden sich am Schluß.)

<sup>1)</sup> In etwas abgekürzter Form vorgetragen auf der Tagung der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft am 13. Mai 1951 in Wilhelmshaven.

<sup>2)</sup> Herr Prof. DROST war so freundlich, uns schon vor der Veröffentlichung von seinen Beobachtungen Mitteilung zu machen und uns zu den hier mitgeteilten Versuchen anzuregen.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1951

Band/Volume: [16\\_1951](#)

Autor(en)/Author(s): Franzisket Ludwig

Artikel/Article: [Über die Ursachen des Formationsfluges 48-55](#)