
Dissertationen

Flugmechanik nachts ziehender Kleinvögel

Herbert Stark

Schweizerische Vogelwarte, CH–6204 Sempach

Dissertation am Zoologischen Institut der Universität Basel (1996)

Der Flug von Kleinvögeln ist gekennzeichnet durch mehr oder weniger regelmässige Pausen zwischen Serien von Flügelschlägen. In diesen Pausen legen besonders die kleinen Arten unter den Singvögeln ihre Flügel eng an den Körper (Bolzenflug; bounding flight). Sie reduzieren damit den Profilwiderstand der im Vergleich zu den Körperdimensionen und zum Gewicht grossflächigen, aber eher kurzen Flügel nahezu auf Null. Die durch grosse Flügelstreckung auf extreme Reduktion des Profilwiderstandes ausgelegten Flügel der Segler *Apus* sp. können während der Pausen ausgebreitet bleiben und verhindern so das für den Bolzenflug typische Absinken. Bei grossen Singvögeln, wie etwa Drosseln *Turdus* sp., bestehen Anzeichen, dass sie sich intermediär verhalten, indem sie die Flügel mehr oder weniger angewinkelt für Tragflächenflug (partial bounding) einsetzen; sie verhindern mit den teilweise gestreckten Armflügeln das mit dem Bolzenflug verbundene starke Absinken, reduzieren aber mit dem Anwinkeln der Handflügel den Profilwiderstand.

Ausgehend von der Annahme, dass die Flügelschlagfrequenz weitgehend durch das Körpergewicht, die Flügelmorphologie und die Ultra-Struktur der Flugmuskulatur festgelegt sei und deshalb nur in sehr engen Grenzen variieren kann, postulieren aerodynamische Theorien relativ konstante Schlagfrequenzen. Variabilität im Flug, insbesondere Veränderungen der horizontalen und vertikalen Geschwindigkeit sowie Anpassung an unterschiedliche

Luftdichte wären demnach nur durch Variation der Schlagphasen- und Pausenlängen zu erreichen. Aufgrund der aerodynamischen Theorie wird eine U-förmige Leistungskurve mit zwei charakteristischen Geschwindigkeiten postuliert: die Geschwindigkeit minimaler Leistung V_{mp} würde es den Vögeln ermöglichen, möglichst lange in der Luft zu bleiben, während mit der Geschwindigkeit maximaler Reichweite V_{mr} die mit einer bestimmten Energiereserve zurücklegbare Strecke maximiert würde. Beide Geschwindigkeiten steigen mit abnehmender Luftdichte, d.h. mit zunehmender Flughöhe.

Zur Überprüfung der theoretischen Vorhersagen unter mehr oder weniger natürlichen Bedingungen wurde das Flugverhalten verschiedener im Radarstrahl freigelassener bzw. freifliegender Nachtzieher untersucht. Die Radarverfolgung liefert Angaben zur Flugmechanik (Flügelschlagmuster, auf Grund der Fluktuationen der Radarechos) und Flugleistung (Horizontal- und Vertikalgeschwindigkeit unter Berücksichtigung des Windes auf der Flughöhe des verfolgten Vogels). Von 436 auf einem Alpenpass gefangenen Vögeln aus 14 Arten konnten 134 länger als 20 Sekunden mit Radar verfolgt werden. Um freifliegende Singvögel in die Analyse einzubeziehen, wurden die Durchzugsdiagramme der auf dem Alpenpass Col de Bretolet gefangenen nachziehenden Arten ermittelt. Mit Hilfe dieser Zugphänologie-Daten konnten radarbestimmte Frequenzgruppen bestimmten Arten zugeordnet werden (Rotkehlchen *Erithacus rubecula*,

Goldhähnchen *Regulus* sp., Singdrossel *Turdus philomelos*). Mauer- und Alpensegler *Apus apus* und *A. melba* konnten allein aufgrund ihrer typischen Flügelschlagmuster identifiziert werden.

Flugmotivation und Verhalten der häufig gefangenen Trauerschnäpper *Ficedula hypoleuca* hingen vom Fangzeitpunkt und vom physiologischen Zustand der Vögel ab. Schwere Vögel mit hohem Fettscore, die vor Mitternacht gefangen wurden, setzten ihren Zug meist gerichtet fort, während spät in der Nacht gefangene Vögel leichter und weniger zugmotiviert waren. Die Flügelschlagfrequenz war korreliert mit dem Gewicht der Vögel, aber nur tendenziell mit dem Fettscore. Das bei einer Freilassung notwendige Aufsteigen (positiver Flugwinkel) wurde vor allem mit einer Verlängerung der Schlagphase erreicht; daneben wurde aber auch die Schlagfrequenz erhöht, während die Schlagpausen verkürzt wurden. Die Variation dieser flugmechanischen Parameter ist am Anfang der Freilassungen sehr breit und pendelt sich danach in einem engen Bereich um den bereits zu Beginn feststellbaren Mittelwert ein.

Das Steigverhalten der freifliegenden Arten wird wie bei den Freilassungen vor allem durch die Länge der Schlagphasen bestimmt. Singdrosseln verkürzten analog zu den freigelassenen Trauerschnäppern auch die Pausen, verringerten aber die Flügelschlagfrequenz, während Mauersegler analog zu den Trauerschnäppern eine Erhöhung der Schlagfrequenz zeigten.

Im Horizontalflug ergab sich bei Rotkehlchen ein positiver Zusammenhang der Eigengeschwindigkeit mit der Pausenlänge und der Flügelschlagfrequenz; längere Pausen und erhöhte Schlagfrequenz könnten als Elemente der Geschwindigkeitssteigerung bei Bolzenfliegern betrachtet werden. Allerdings nahm bei Goldhähnchen die Pausenlänge mit zunehmender Geschwindigkeit ab. Singdrosseln zeigten einen tendenziell positiven Zusammenhang zwischen Fluggeschwindigkeit und Schlagphasenlänge, aber keinen Zusammenhang mit der Pausenlänge. Gleichzeitige Verkürzung der Pausen und Verlängerung der Schlagphase führt bei dieser relativ grossen Art zu einer

steigenden Flugbahn (s. oben); durch stärkere Pfeilung der Flügel beim Tragflächenflug kann die Geschwindigkeit gesteigert werden; leicht verlängerte Schlagphasen könnten lediglich zu starkem Absinken verhindern.

Die Eigengeschwindigkeit horizontal fliegender Segler nimmt mit der Flughöhe zu; beim Mauersegler nimmt auch die Schlagfrequenz zu. Auch beim Rotkehlchen nehmen Eigengeschwindigkeit und Schlagfrequenz mit der Höhe zu, während Goldhähnchen lediglich schneller mit den Flügeln schlagen. Singdrosseln steigern ihre Geschwindigkeit mit der Höhe nicht; wie bei den Rotkehlchen sind bei ihnen die Pausen verlängert.

Ein Vergleich zwischen theoretisch berechneten Schlagfrequenzen und den gemessenen Werten ergibt, dass die berechnete Frequenz bei den meisten Arten tiefer liegt als die an freigelassenen Individuen gemessene; Ausnahmen bilden Singdrossel und Gartenrotschwanz *Phoenicurus phoenicurus*. Hier, wie auch bei den Fluggeschwindigkeiten, kann kurz nach der Freilassung nicht ohne weiteres mit optimierten Werten gerechnet werden. Die gemessenen Geschwindigkeiten horizontal fliegender Individuen liegen mehrheitlich über der berechneten V_{mp} (Ausnahme: Grauschnäpper *Muscicapa striata* und Sommergoldhähnchen *Regulus ignicapillus*), aber meist unter V_{mr} (Ausnahmen: Steinschmätzer *Oenanthe oenanthe* und Wintergoldhähnchen *Regulus regulus*, die praktisch die postulierte Geschwindigkeit erreichten). Bei den freifliegenden Vögeln mit horizontalem Flugweg lagen die Messwerte für Singdrosseln und Rotkehlchen etwa 8 % höher als die Modellvoraussage, beim Mauersegler etwa 7 % tiefer und bei den Goldhähnchen sehr nahe am berechneten Wert.

Insgesamt zeigen die freigelassenen Vögel, dass Schlagfrequenzen, Schlagphasen, Pausen wie auch vertikale und horizontale Geschwindigkeiten stark variieren können. Einzelne dieser Parameter zeigen systematische Zusammenhänge, diese aber oft nicht in gleicher Weise bei verschiedenen Arten bzw. Flugtypen. Intermittierend flügelschlagende Kleinvögel scheinen generell die Schlagphasen zu verlängern, um aufzusteigen. Zum Teil, insbesondere bei grossen Singvögeln, werden zugleich die

Pausen verkürzt. Eine Steigerung der Schlagfrequenz kann, muss aber nicht damit verbunden sein. Die Eigengeschwindigkeit scheint beim Bolzenflug durch erhöhte Schlagfrequenz und verlängerte Pausen gesteigert zu werden. Bei Tragflächenfliegern könnte stärkere Flügelpfeilung bei konstanter Pausenlänge vermutet (mit Radar aber nicht festgestellt) werden; die dadurch entstehenden grösseren Gleitwinkel wären durch leicht verlängerte Schlagphasen auszugleichen. Die erwartete Steigerung der Geschwindigkeit mit der Flughöhe trat unter den vier geprüften freifliegenden Arten nur bei Mauersegler und Rotkehlchen auf. Die bei drei Arten erhöhte Schlagfrequenz könnte andeuten, dass auf diese Weise die in dünnerer Luft reduzierten Auf- und Vortriebskompo-

nenten kompensiert werden; dabei wird bei Goldhähnchen offenbar keine Geschwindigkeitssteigerung erzielt. Singdrosseln könnten allenfalls den bei geringerem Luftwiderstand reduzierten Auftrieb durch längeres und mit geringerer Flügelpfeilung unterstütztes Gleiten ausgleichen, ohne dabei eine erhöhte Geschwindigkeit zu erzielen.

Bibliographische Angaben

STARK, H. (1996): Flugmechanik nachts ziehender Kleinvögel. Diss. Universität Basel, Verlag Schweizerische Vogelwarte, Sempach; 81 Seiten. Bezug: Schweizerische Vogelwarte, Bibliothek, CH-6204 Sempach.

Zug und Rastverhalten überwinternder Tauchenten (*Aythya fuligula* und *A. ferina*) in der Schweiz

Matthias Kestenholz

Schweizerische Vogelwarte, CH-6204 Sempach

Dissertation am Zoologischen Institut der Universität Basel (1995)

Die wichtigsten Winterquartiere der in der borealen Taiga der Westpaläarktids brütenden Tauchenten liegen im westlichen Europa entlang der Januar-0°C-Isotherme. Die sich vorwiegend von benthischen Muscheln ernährenden Tauchenten werden von den hier herrschenden variablen Umweltbedingungen stark gefordert, denn Nahrungsressourcen und deren Verfügbarkeit, Wetterverhältnisse, Konkurrenz und Feinddruck schwanken in unvorhersagbarer Art und Weise. All diese Faktoren beeinflussen den Energiehaushalt und letztlich auch die individuelle Fitness der Tauchenten, denn von der Körperkondition hängt nicht nur das

Überleben im Winter ab, sondern auch die jährliche Überlebenschance und möglicherweise auch der spätere Bruterfolg.

Als Thema dieser Arbeit stand die Frage nach den Anpassungen im Vordergrund, die von den Tauchenten als Reaktion auf diese variablen Verhältnisse im Winterquartier entwickelt worden sind. Die Studie konzentriert sich auf die Winterökologie von Reiherente *Aythya fuligula* und Tafelente *A. ferina*. Sie wurde im schweizerischen Mittelland an zwei grundverschiedenen Seen durchgeführt: Der westlichste Teil des Bodensees (Untersee) ist dank den dicht besetzten Muschelbänken und den Flach-