

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

E 2182/1975

Sula neboxii (Sulidae)
Stoßtauchen (Freilandaufnahmen)

Mit 7 Abbildungen

GÖTTINGEN 1975

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

***Sula nebouxii* (Sulidae)**
Stoßtauchen (Freilandaufnahmen)

G. RÜPPELL, Erlangen

Allgemeine Vorbemerkungen¹

Der Blaufußtöpel *Sula nebouxii* gehört zur artenreicheren tropischen Gattung der Töpel. Die drei Arten der anderen Gattung *Morus*, unter ihnen unser mitteleuropäischer Töpel, *Morus bassanus*, leben in den gemäßigten Breiten.

Der Blaufußtöpel nistet an der Westküste des tropischen Amerikas vom Golf von Kalifornien bis Peru, auf Inseln vor der Küste von Mexiko, Ekuador und Nordperu und auf den Galapagos-Inseln. Ähnlich wie andere tropische Vogelarten kann man auch Blaufußtöpel das ganze Jahr hindurch brütend antreffen.

Töpel ernähren sich stoßtauchend aus dem Meer. Diese Technik ist notwendig, weil Töpel relativ leicht sind (sie besitzen ein ausgeprägtes Luftsacksystem, das auch als Aufpralldämpfer wichtig ist) und aus dem Schwimmen kaum in das Wasser eindringen können. (Der schwerere Baßtöpel [3000—4000 p im Gegensatz zu 1500—2000 p der tropischen Arten] soll dagegen auch aus dem Schwimmen heraus tauchen.)

Ihrem geringen Gewicht verdanken Töpel die für tauchfähige Seevögel relativ niedrige Flächenbelastung (Gewicht: Flügelfläche = $\frac{G}{F} = 75—110$ p/dm² [Blaufußtöpel], zum Vergleich: Lumme: 260 p/dm²). Diese ist eine Voraussetzung für den Langsamflug, der für ein Orten der Beute aus der Luft notwendig ist.

Den Windverhältnissen über der See ist auch die Flügelform der Töpel angepaßt: die Flügel sind schmal und relativ dick, so daß Windböen sie nicht verdrehen können. Das Verhältnis von Länge zu Breite der Flügel beträgt 5,3 : 1 (zum Vergleich: Lumme 3 : 1). Dieses günstige Längen-

¹ Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 12 u. 13.

Breiten-Verhältnis bringt noch einen Vorteil mit sich: der induzierte Widerstand bleibt gering. Diese Widerstandsform entsteht an den Seitenrändern der Flügel als energiekostende, bremsende Wirbelbildung als Folge einer Druckausgleichsströmung von der Unter- zur Oberseite der Flügel. Sind die Flügelseitenränder im Vergleich zur Flügelfläche klein, dann bleibt auch der induzierte Widerstand gering. Deshalb ist auch die spitze Flügelform günstig.

Schmale Flügel sind jedoch nur dann für eine ausreichende Auftriebsproduktion günstig, wenn sie von viel Wind umströmt werden. Das ist über dem Meer der Fall.

Ihre gute Flugfähigkeit über dem Meer erlaubt es den Tölpeln, weite Flächen nach Nahrung abzusuchen. In ihrem Verbreitungsgebiet ist das auch notwendig, weil die Fischdichte relativ gering ist. In Gebieten hoher Breitengrade, wo Seetaucher, Enten oder Alke schwimmend schon auf kleinem Raum ausreichend Nahrung finden, ist dagegen eine gute Flugfähigkeit nicht unbedingt erforderlich.

Blaufußtöpel stoßen aus verschiedener Höhe auf Fische. Steht ein Fisch tief, dann steigt der Töpel höher in die Luft, um mit größerem Schwung anschließend tiefer eintauchen zu können. Höhen bis 20 m sind gemessen worden. In seichten Buchten dagegen betrug die Stoßhöhe nur einige Meter. Die geeignete Stoßhöhe kann entweder durch eine direkte optische Entfernungsmessung zur Beute oder durch die bei einem vorangehenden erfolglosen Stoß gewonnene Entfernungskennntnis gewonnen werden. Für eine optische Entfernungsmessung sprechen abgebrochene Stoßversuche. Mehrere Male konnte beobachtet werden, daß Töpel ihren Abwärtsflug kurz vor der Wasseroberfläche abbrachen, indem sie den gespreizten Schwanz rückwärts krümmten und die bereits eingeknickten Flügel wieder ausbreiteten. Aufgrund dieser Beobachtungen werden auch ältere Angaben unglaubwürdig, nach denen Töpel ohne Ziel ins Wasser stürzen, um dann Beute von unten her anzugreifen. Das erscheint auch deshalb zweifelhaft, weil die Auftauchstelle in unmittelbarer Nähe der Eintauchstelle liegt. Bei einer senkrechten Tauchbahn würde ein Töpel ja die Beute beim Eintauchen verfolgen, die er beim Auftauchen zu fangen beabsichtigt.

Um aus dem langsamen Geradeaus- — oder Steigflug — die Stoßflugbahn zu erreichen, wenden Töpel verschiedene Methoden an: am häufigsten ist wohl die, ein Drehmoment dadurch zu erzeugen, daß ein Flügel so gekippt wird, daß er einen negativen Anstellwinkel¹ erhält und dabei mehr oder weniger stark gefaltet wird. Dadurch verliert der Vogel einseitig an Geschwindigkeit und Höhe und führt eine Roll- und Kippbewegung über diesen Flügel aus (Abb. 4). Daneben kann auch der

¹ Unter Anstellwinkel soll der mittlere aerodynamische (Winkel zwischen Profilschne [Flügelunterseite] und Anblasrichtung) verstanden werden.

Schwanz durch Schrägstellen oder die einseitig ausgebreiteten Füße die Kurvenführung verbessern helfen. Auch kurzzeitiges höheres Anstellen eines Flügels (Abb. 5) kann eine Kurve zum Sturzflug einleiten helfen. Die Töpel fliegen fast immer gegen den Wind an, um eine geeignete Stoßposition zu erreichen. Bereits geringfügige, vom Betrachter nicht beobachtbare Maßnahmen (einseitige Ausstellwinkeländerungen, Ver-

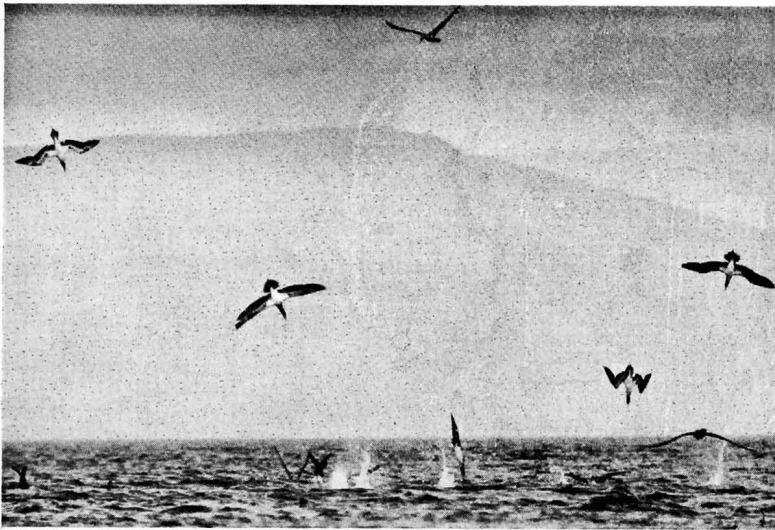


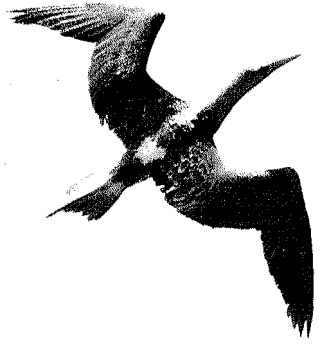
Abb. 1. Gemeinsames Stoßtauchen eines Schwarmes von Blaufußtöpel vor Fernandina

windungen, Änderungen des Streckungsgrades eines Flügels, einseitiges Schwanzverdrehen) können im Gegenwind bereits eine solche Instabilität der Fluglage herbeiführen, die als Einleitung eines Stoßmanövers ausreichen können.

Die wichtigste Besonderheit des Stoßtauchens der Töpel ist die Eintauchhaltung (Abb. 1, 2e, 3, 6). Durch die Streckung und das Anlegen der Flügel ganz eng an den Körper sowie der Beine und des Schwanzes wird nur ein geringer Widerstand erzeugt. Bei Modellmessungen von Töpel- und Meerespelikanholzmodellen im Windkanal ergab sich ein Verhältnis von 1 : 90 des Luftwiderstandes. Ob ein ähnlich großer Unterschied des Widerstandes beim Eintauchvorgang besteht, ist damit allerdings nicht bewiesen. Die verschieden großen Wassermengen, die dabei hochgeschleudert werden (siehe auch Film E 2181 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1975), deuten jedenfalls darauf hin.



2a



2b



2c



2d



2e



2f



2g



2h

In je größere Tiefen der Töpel gelangt (für den Baßtöpel werden bis 25 m angegeben (REINSCH [8])), um so weniger wird er wahrscheinlich vom statischen Auftrieb emporgedrückt, weil der zunehmende Wasserdruck (je 10 m — 1 Atmosphäre) das Gefieder und den Körper zusammendrückt, so daß sich die Dichte des Töpels erhöht.

Die Tauchdauer liegt beim Baßtöpel zwischen 5 und höchstens 20 Sekunden (REINSCH [8]), beim Blaufußtöpel konnten wir ähnliche Werte feststellen. Bei hohen Stößen über tiefem Wasser dauerten die Tauchvorgänge in der Regel viel länger als nach kurzen Stößen in seichten Buchten. Beim Auftauchen schießen die Tiere mit großer Geschwindigkeit weit (etwa um ihre eigene Körperhöhe [ohne Hals]) aus dem Wasser heraus, so daß sie anschließend wieder ins Wasser in die Schwimmlage zurückfallen. Oft breiten sie auf dem höchsten Punkt des Herausschießens bereits ihre Flügel aus, um zu starten, um, wenn viele Fische da sind, im Bogen an die Stoßstelle zurückzukehren, oder neue Beute zu suchen.

Die Fische werden in den meisten Fällen bereits unter Wasser verschluckt. Nur selten wirft der schwimmende Töpel den nicht kopfvoran im Schnabel liegenden Fisch in die Höhe, um ihm eine günstigere Lage zu geben. Nach dem Auftauchen wird der Schnabel meist ins Wasser gesteckt — vermutlich um Wasser aufzunehmen.

Blaufußtöpel fangen ihre Beute in der Nähe der Küste. Selten konnten wir auf Galapagos Töpel in mehr als 10 km Entfernung fischen sehen. Die herabstürzenden Vögel wirken auf Artgenossen offensichtlich als Signal. Von allen Seiten kommen Töpel hinzu, bis mehrere Dutzend stoßtauchend beisammen sind. Nach einigen Minuten kann die Stelle, an der gefischt wurde, bereits wieder verlassen sein.

Die Töpel nehmen Ruheplätze auf Felsen an der Küste ein. Dort sind diese Plätze zeitweise dicht besetzt. Neuankömmlinge werden nur an noch freien Plätzen geduldet. Selbst Meerechsen (*Amblyrhynchus cristatus*) werden verjagt, wobei allerdings die innerartlichen Drohgebärden ausgelassen und sogleich Schnabelhiebe ausgeteilt werden.

An flugtechnischen Daten konnten folgende ermittelt werden: (bei aus der Literatur genommenen Angaben über Gewicht 1500—2000 p und einer Körperlänge von 86 cm):

Abb. 2. Einzelne Phasen verschiedener Stoßtauchmanöver.

Mit ausgebreiteten Flügeln beschleunigt der Töpel (a), faltet die Flügel zunächst im Handgelenk (b,c) und streckt sie anschließend nach hinten (d). Beim Eintauchen ist eine Form mit geringstmöglicher Widerstandserzeugung erreicht (e, f). Der Töpel wird beim Auftauchen (g) stark vom statischen Auftrieb weit aus dem Wasser herausgedrückt. Oft breitet er dann sofort die Flügel aus und startet (h)

(Aufnahmen mit Leicaflex-mot mit 1/2000 s)

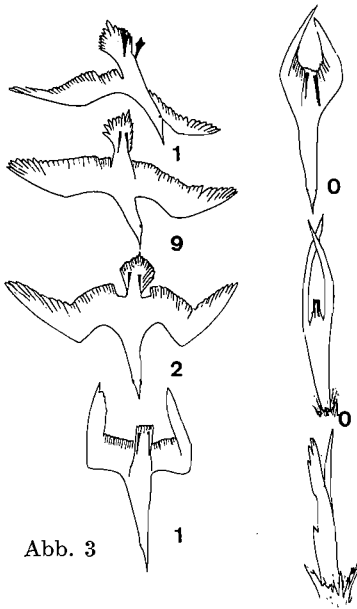


Abb. 3

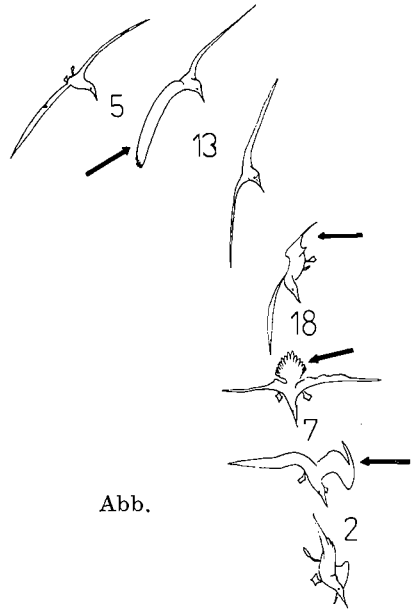


Abb.

Abb. 3. Phasen vom Erreichen der Eintauchhaltung. Die Zahlen geben die dazwischenliegende Bildanzahl an (64 B/s, linke Seite von oben nach unten, dann rechte Seite)

Abb. 4. Der Töpel leitet ein Stoßtauchmanöver durch negatives Anstellen des kurveninneren Flügels ein (oberster Pfeil). Er bricht dann das seitliche Abstürzen durch Einfalten des oberen Flügels wieder ab (2. Pfeil von oben) und bringt die Körperlängsachse (Kopf-Schwanz) wieder durch Schwanzspreizen und -hochstellen (3. Pfeil) in die Horizontale. Anschließend wird durch Einfalten des linken Flügels ein neues Stoßmanöver eingeleitet (Zahlen bedeuten dazwischenliegende Bildanzahl bei 64 B/s von oben nach unten)

Abb. 5. Der Töpel erreicht eine Drehung nach links durch Anstellwinkelvergrößern des linken Flügels. Durch Einfalten dieses Flügels und weites Durchschlagen des anderen erreicht der Vogel seine abwärts gerichtete Flugbahn

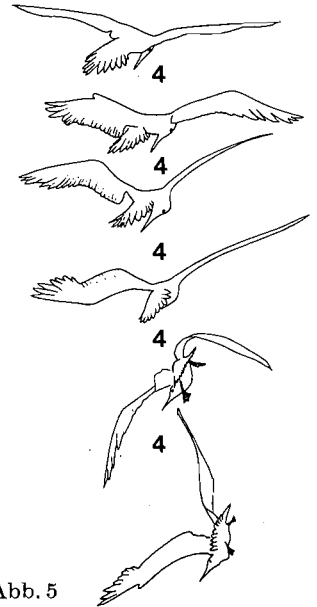


Abb. 5

Flächenbelastung:	75—110 p/dm ²
Länge: Breite der Flügel:	5,3 : 1
Flügeschlagfrequenz: Geradeausflug und Start	3—6 S/s
max. Eintauchgeschwindigkeit:	111 km/h
Widerstand der Eintauchhaltung in Luft zu Widerstand von Meerespelikan (Holzmodell):	1 : 90
Stirnfläche der Eintauchhaltung im Vergleich zu Meerespelikan:	1 : 13
Fähigkeit zum Flug auf der Stelle:	bei Windstille nur kurzfristig
Landung:	keine Unterfliegungs- landung notwendig
Langstreckenflug:	mit u. ohne Wind möglich
Abstoßzahl der Beine bei Start ohne Wind:	2—4

Abb. 6. Bei diesem schrägen Stoß werden Richtungsveränderungen durch höheres Anstellen des linken Flügels, Aufkippen des Schwanzes und Einfalten des rechten Flügels durchgeführt

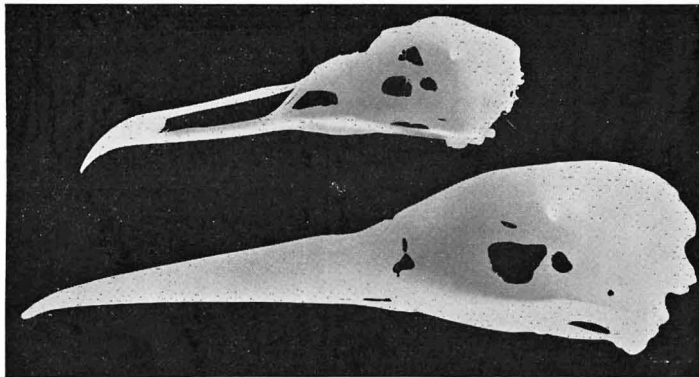
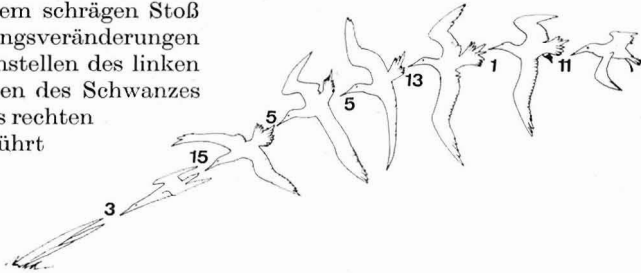


Abb. 7. Umrisse der Schädel einer Silbermöwe (oben) und eines Baßtölpels. In Anpassung an ein möglichst widerstandsarmes Eintauchen, weist der Töpelschädel weniger hervortretende Kanten (also nicht so große Winkel) auf als der Möwenschädel. Umgekehrt sind der Oberschnabel und der Schädel des Tölpels massiver gebaut, um den Aufprall auszuhalten

Zur Entstehung des Films

Die Aufnahmen wurden im Januar 1974 auf Galapagos hergestellt. Die meisten Einstellungen wurden aus einem kleinen Beiboot auf bewegter See aus der Hand gemacht.

Als Kamera diente die Bolex Reflex 16 mm. Die Aufnahmefrequenz betrug 64 B/s. Objektive von 25 und 150 mm Brennweite wurden verwendet. Die Sektorenblende der Kamera war zu $\frac{3}{4}$ geschlossen.

Filmbeschreibung

1. Hoher Stoß von einem Töpel auf der offenen See vor Fernandina. Aufn.-Freq. 24 B/s. (Bis Einstellung 11 sind alle Aufnahmen an diesem Ort hergestellt worden.)
2. Alle folgenden Einstellungen wurden mit einer Aufn.-Freq. von 64 B/s aufgenommen. Sieben Töpel stoßen gleichzeitig (hohe Stöße).
3. Ein Töpel: Kurve durch Schräglage, seitliches Abkippen über den rechten Flügel in den schrägen Stoß, Korrekturbewegungen mit dem Schwanz, Rotationsbewegung um die Längsachse um 360° , Eintauchen (hoher Stoß).
4. bis 7. Zwei Töpel stoßen jeweils zusammen abwärts, wobei sie mit Flügelschlägen beschleunigen (hohe Stöße).
8. Stoßphase eines Töfels aus großer Höhe.
9. Hoher Stoß eines Töfels in Großaufnahme, wobei besonders gut das einleitende Manöver, nämlich Anstellwinkelverkleinerung des später unteren Flügels, deutlich wird. Der Schwanz wird rückwärts geschlagen, um die durch den negativ angestellten Flügel eingeleitete Roll- und Kippbewegung abzubremesen.
10. Die wichtigste Maßnahme für das Erreichen der abwärtsgerichteten Flugbahn ist das Einfalten und negative Anstellen des Flügels, über den abwärts gekippt wird. Dieses Manöver wird hier sehr deutlich. Der Stoß wird jedoch durch Hochdrehen des gespreizten Schwanzes abgebrochen, außerdem werden die beim Abwärtsfliegen nach hinten gefalteten Flügel wieder gestreckt. Das Abbrechen des Stoßtauchmanövers zeigt, daß die Beute gezielt angesteuert wird.
11. In einer seichten Bucht an der Nordküste von Floreana fischen ca. 40 Blaufußtöpel.
Entsprechend ihrer geringen Tauchtiefe, steigen sie vor dem Stoßtauchen auch nur ein kleines Stück empor.
Noddiseeschwalben fliegen zu einem fischenden Braunen Pelikan.
Ein seltenes Verhalten zeigt ein Töpel gegen Ende der Einstellung, der

einen Start von der Wasseroberfläche abbricht und nach Nahrung stößt, ohne die Wasseroberfläche verlassen zu haben.

12. Töpel stoßen auch in schräger Bahn (hier etwa 40° zur Wasseroberfläche) nach Beute. Meistens fliegen sie allerdings so schräg nur zum Baden oder zu Versammlungen.

Beim Auftauchen schießt der Töpel ein Stück, das etwa seiner Rumpflänge entspricht, aus dem Wasser. Das zeigt, wie stark er vom statischen Auftrieb des Wassers emporgedrückt wird. Anschließend taucht er den Kopf ins Wasser, wahrscheinlich um zu trinken und die Nahrung hinabzuspülen. Ein Trinken während des Tauchens ist wenig wahrscheinlich, da der geöffnete Schnabel sehr stark bremsen würde.

13. Halbhoher Stoß, der ohne erkennbare Steuermanöver eingeleitet wird. Auftauchen und Kopf eintauchen.

14. Großaufnahme eines halbhoheren Stoßes. Abkippen über den rechten leicht gefalteten und negativ angestellten Flügel. Die verschiedenen Anstellwinkel der beiden Flügel kann man bei der Ansicht von unten sehr gut erkennen.

15. Zwei Töpel beim Stoßtauchen.

Das Manöver wird bei einem von ihnen durch eine starke Anstellwinkelvergrößerung eines Flügels eingeleitet. Dadurch kommt es zu einer Drehung zu dieser Seite. Anschließend wird der gleiche Flügel gefaltet und negativ angestellt. Dadurch kippt der Vogel über diesen Flügel ab. Außerdem wird der linke, also kurvenäußere Flügel weiter durchgeschlagen. Dadurch wird auf der kurvenäußeren Seite stärker beschleunigt. In Stoßrichtung beschleunigt der Töpel mit beiden Flügeln schlagend. Auftauchen und Kopf eintauchen.

16. Hoher Stoß mit Korrekturmanövern.

Aus einer leichten Rechtskurve heraus erreicht der Vogel durch negatives Anstellen des kurveninneren Flügels eine nach rechts (vom Ausgangspunkt des Vogels gesehen) gerichtete Stoßbahn. Das Abkippen über den rechten Flügel wird gebremst durch Falten des linken Flügels. Dadurch kommt die Querachse des Vogels, die von Flügelspitze zu Flügelspitze verläuft, wieder horizontal zum Liegen. Gleichzeitig wird der gespreizte Schwanz rückenwärts hochgestellt. Dadurch richtet der Vogel seine Längsachse (Kopf-Schwanz) wieder gerade. Durch erneutes starkes Falten des linken Flügels kippt der Töpel nach links ab. Die Füße spielen dabei ebenfalls eine Rolle. Während sie beim Einleiten des neuen Stoßes zunächst beide als Luftbremse gespreizt sind, wird während der Kurve der kurvenäußere Fuß parallel zur Körperlängsachse gebracht. So bremst in erster Linie nur der Fuß auf der Kurveninnenseite.

17. Bei der besonders günstigen Ansicht von vorn wird deutlich, wie stark der kurveninnere Flügel negativ angestellt (Anstellwinkel ca.

—40 bis —50°) und gefaltet wird, so daß auf dieser Seite Antrieb und Widerstand erzeugt werden. Beschleunigen beim Abwärtsstoßen durch Flügelschläge. Dann Start vom Wasser, wobei mit den Füßen mit gleicher Frequenz wie die Flügelschläge (5 Schläge pro Sekunde) vom Wasser abgestoßen wird.

Literatur

- [1] ALEXANDER, W. B.: Die Vögel der Meere, Parey, Hamburg und Berlin 1959.
- [2] ASHMOLE, N. P.: Sea bird ecology and the marine environment. In: Avian Biology I. Academic Press. New York and London 1971.
- [3] BAILEY, R. S.: The pelagic distribution of sea birds in the western Indian Ocean. *Ibis* **110** (1969), 493—519.
- [4] BOYD, H. J.: Swimming and diving. In: "A New Dictionary of Birds". Nelson, London 1964, pp. 795—797.
- [5] FISHER, J., and R. M. LOCKLEY: "Sea-birds". Collins, London 1954.
- [6] NELSON, J. B.: The breeding ecology of the Red-footed Booby in the Galapagos. *J. Anim. Ecol.* **38** (1968), 181—198.
- [7] RÜPPELL, G.: Vogelflug. Kindler, München 1975.
- [8] REINSCH, H. H.: Der Basstölpel. Die Neue Brehm Bücherei 412, Wittenberg Lutherstadt 1969.
- [9] STORER, R. W.: Evolution in the diving birds. Proc. 12th Int. Ornith. Congr. 1958 (1960), 694—707.
- [10] VERNER, J.: Flight behaviour of the Red-footed Booby. *Wilson Bull.* **77** (1965), 229—234.
- [11] WYNNE-EDWARDS, V. C.: Oceanic birds. In: "A New Dictionary of Birds". Nelson, London 1964, pp. 548—550.

Anschrift des Verfassers:

Dr. G. RÜPPELL, II. Zoologisches Institut der Universität Erlangen-Nürnberg, D-8520 Erlangen, Bismarckstr. 10.

Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1975 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, farbig, 43 m, 4 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden im Jahre 1974 mit finanzieller Unterstützung durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film. Aus dem II. Zoologischen Institut der Universität Erlangen-Nürnberg, Dr. G. RÜPPELL. Bearbeitet und veröffentlicht durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dr. H. KUCZKA.

Inhalt des Films

Der Film zeigt Stoßtauchmanöver von Blaufußtölpeln von Galapagos mit 64 B/s. Es werden hohe und niedrige Stöße und einige der Maßnahmen, die der Vogel trifft, um den Stoß einzuleiten, gezeigt.

Summary of the Film

The film shows dive manoeuvres of the blue-footed booby of Galapagos with 64 f/s. High and deep dives and some of the actions taken by the bird to begin the dive are shown.

Résumé du Film

Le film montre les manoeuvres de plongée en piqué de fous "à pattes bleues" des Galapagos, avec 64 images/s. Des piqués hauts et bas sont montrés, ainsi que quelques unes des mesures prises par l'oiseau pour amorcer un piqué.