

Museum am Friedrichsplatz

STEFFEN WOAS

Grundsätzliche Bemerkungen zum Flugvermögen von *Aurivolans propulsator* PILOTOVA (Mammalia, Rhinogradentia)

Kurzfassung

Aurivolans propulsator PILOTOVA ist ein flugfähiges Säugetier, welches seinen Vortrieb mit Hilfe seines Darmtraktes erzeugt. Der Verdauungsapparat funktioniert dabei analog zu einem Propulsionsmotor. Erst kürzlich entdeckte Aufzeichnungen haben es ermöglicht, dieses interessante Tier der Öffentlichkeit vorzustellen.

Abstract

Aurivolans propulsator PILOTOVA is a mammal able to fly, which gains its motive power by its intestine. Compared to a motor the intestine follows the principles of ram-jet-propulsion in producing the motive power. Notes discovered recently made it possible to introduce this interesting animal to the public.

Autor

Dr. STEFFEN WOAS, Landessammlungen für Naturkunde, Postfach 40 45, Erbprinzenstraße 13, D-7500 Karlsruhe 1.

1. Einleitung

Durch glückliche Umstände sind eine Reihe von Veröffentlichungen in unsere Hände gelangt, die normalerweise über den freien Zeitschriftenaustausch nicht erhältlich sind. Diese Veröffentlichungen, die von BONHOMME und CNALGASS in den Jahren 1930 bis 1937 angefertigt worden sind, beziehen sich, wie beide Autoren

* Niederschrift zur Dienstagabend-Führung vom 1. 4. 1980, 18 Uhr.

ausdrücklich vermerken, auf das Originalmanuskript der seinerzeit verschollenen russischen Biologin O. R. PILOTOVA, welches durch eine Reihe verwickelter Umstände in die Hände der Royal Navy gelangte (siehe hierzu auch SPILL 1930 und WALK-WALKER 1930). Dank der Übersetzungsarbeiten von BONHOMME und CNALGASS sind Auszüge des Originalmanuskriptes der Nachwelt erhalten geblieben. Dies wiederum ermöglicht es uns, zu dem von STÜMPKE (1967) geschilderten erstaunlichen Flugverhalten von *Otopteryx volitans* dasjenige von *Aurivolans propulsator* hinzuzufügen.

Unser aller Dank gilt in diesem Zusammenhang den Herren BONHOMME und CNALGASS, ohne deren unermüdete Tätigkeit es unmöglich gewesen wäre, eines der außergewöhnlichsten Flugvermögen innerhalb der Wirbeltiere kennenzulernen. Leider ist die Spur dieser aufrechten Forscher im Zuge der geschichtlichen Ereignisse verlorengegangen.

2. Beschreibung der Art *Aurivolans propulsator* PILOTOVA

2.1 Systematische Stellung

Nach BONHOMME (1936) stießen am 8. 5. 1927 O. R. PILOTOVA und J. F. TURMANSKI anlässlich einer Expedition auf der Insel Noorubissy (Hi-lay Islands) auf einer Urwaldlichtung auf eine Tierart, die von PILOTOVA als *Aurivolans propulsator* beschrieben worden ist. Art und Aufbau des Nasopodium sowie das Vorhandensein eines vollständig entwickelten Deutonasalgelenkes stellen das Tier eindeutig zu der durch BROMEANTE DE BURLAS (1948) aufgestellten Familie der Hopsorrhinidae. Spezifische morphologische Eigenschaften, wie z. B. das Fehlen eines invertierten Fellstriches sowie des Os alae auris als auch die Differenzierung des Darmtraktes lassen jedoch die unmittelbare Zuordnung dieser Art zu den Gattungen *Hopsorrhinus* oder *Otopteryx* (BROMEANTE DE BURLAS 1948) als zweifelhaft erscheinen.

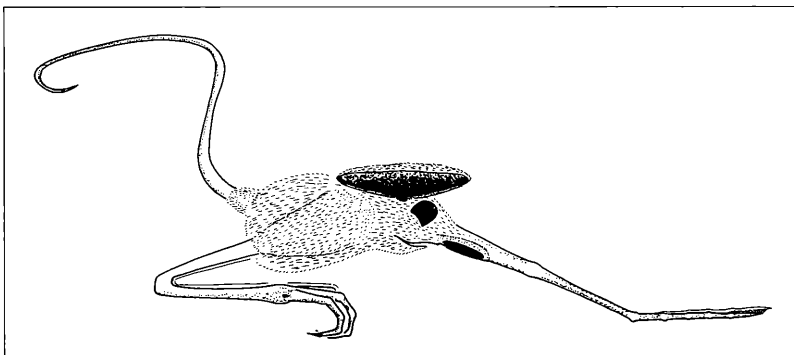


Abbildung 1. *Aurivolans propulsator* PILOTOVA lateral (Reiseflug); das Tierchen fliegt mit der intrarhinangialen Stabilisatormembran voran (Reiseflug nach dem Entenflügelprinzip).

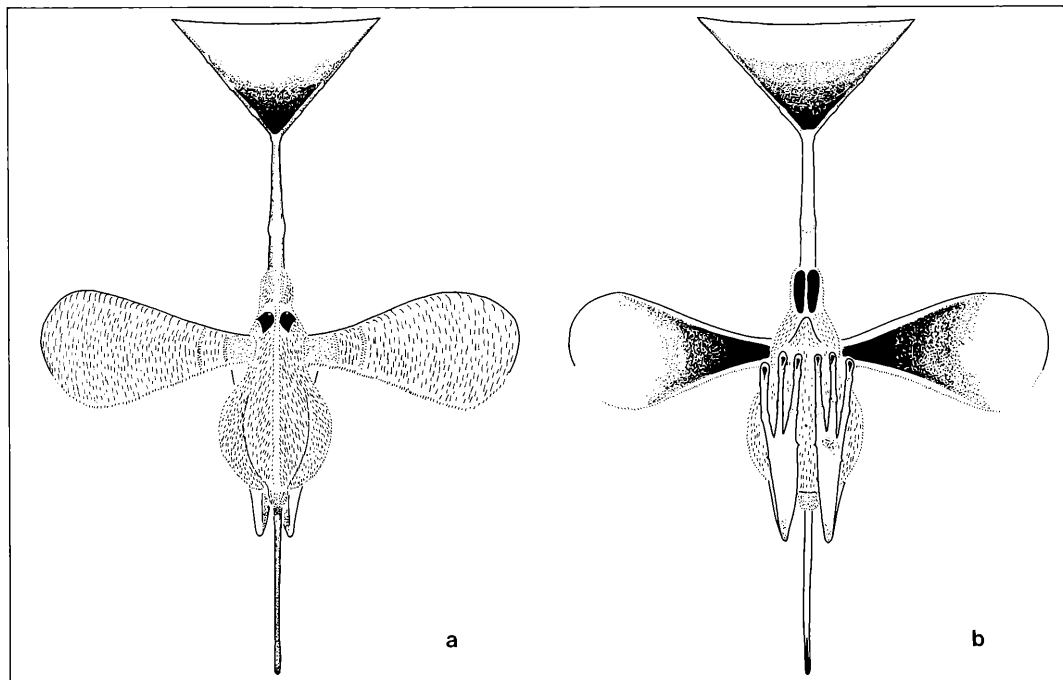


Abbildung 2. *Aurivolans propulsator* PILOTOVA; a) dorsal; b) ventral; man beachte die Fellsäume im Flugohrwurzelbereich, denen die Funktion von Grenzschichtzäunen zukommt.

2.2. Äußere und innere Anatomie

Im Gegensatz zu *Hopsorrhinus aureus* und *Otopteryx volitans* weist *Aurivolans propulsator* einen normalen Fellstrich auf, wobei das Fell von schlichter brauner Färbung ist. Als Besonderheit treten im proximalen Flugohrbereich zwei Reihen aufrechtstehender Borstenhaare auf, die von BONHOMME (1937) als grenzschichtabweisende Fellzäune zur Gewährleistung einer einwandfrei laminaren Flugohranströmung gedeutet worden sind. Im Querschnitt ist das Flugohr an der Oberseite nur wenig stärker gewölbt, als dies für dessen Unterseite der Fall ist. BONHOMME (1937) bezeichnet dies als superkritisches Flugohrprofil, dessen Aufgabe es sei, maximale Auftriebswerte bei gleichzeitig minimalstem Luftwiderstand zu erzielen. Der Schwanz ist, im Gegensatz zu demjenigen von *Otopteryx volitans*, äußerlich voll entwickelt und verfügt über eine erstaunliche Elastizität. Terminal ist er, ähnlich wie bei *Alouatta*, zu einem Greiforgan mit nackter Greifsohle und stark entwickelten Dermatoglyphen umgebildet. Somit ist der terminal-caudale Bereich gänzlich anders als bei *Hopsorrhinus aureus* gestaltet und nicht mit diesem homologisierbar. Die übrige äußere Gestaltung entspricht derjenigen der weiteren Hopsorrhiniden.

Der Skelettaufbau ist weitgehend mit demjenigen von *Hopsorrhinus aureus* und *Otopteryx volitans* identisch, wobei allerdings die *Os alae auris* (*Cartilago aeroplanae*) fehlen. Im Gegensatz zum äußerlich voll entwickelten

Schwanz sind die Schwanzwirbel reduziert (Anzahl der Schwanzwirbel 10) und erstrecken sich lediglich bis in den Schwanzwurzelbereich des außergewöhnlich muskulösen und dehnbaren Schwanzes.

Die Anordnung der Muskulatur entspricht derjenigen von *Hopsorrhinus aureus* und *Otopteryx volitans*. Allerdings ist hier sowohl der *M. aeroplana jugalauris* anterior und posterior als auch der *M. levator aeroplanae* reduziert, wodurch eine aktive Bewegung der Flugohren nur in einem sehr geringen Umfang möglich ist. Die metamere Schwanzmuskulatur ist, im Zusammenhang mit der Funktion des Schwanzes, als Hautmuskelschlauch ausgebildet.

Das Blutgefäßsystem entspricht in seinen großen Zügen demjenigen der übrigen Säugetiere. Als Besonderheit tritt hier jedoch ein auriläres Sperrvenensystem auf, welches in Verbindung mit der *V. jugalauris* steht und die Steifheit der Flugohren während des Fluges garantiert. BONHOMME (1937) bezeichnet dieses Sperrvenensystem als flight-supporting haemodraulic blood-vessel system. Dieses tritt nur in Funktion, wenn Flugappetenz vorliegt.

Im Zusammenhang mit dem Flugvermögen ist der Darmtrakt stark abgewandelt und ähnelt in verblüffender Weise demjenigen der Ruminantia. Wenn deshalb für die entsprechenden Strukturen homologer Lage die gleichen Begriffe wie bei den Ruminantia Verwendung finden, so deutet dies keineswegs unbedingt die tat-

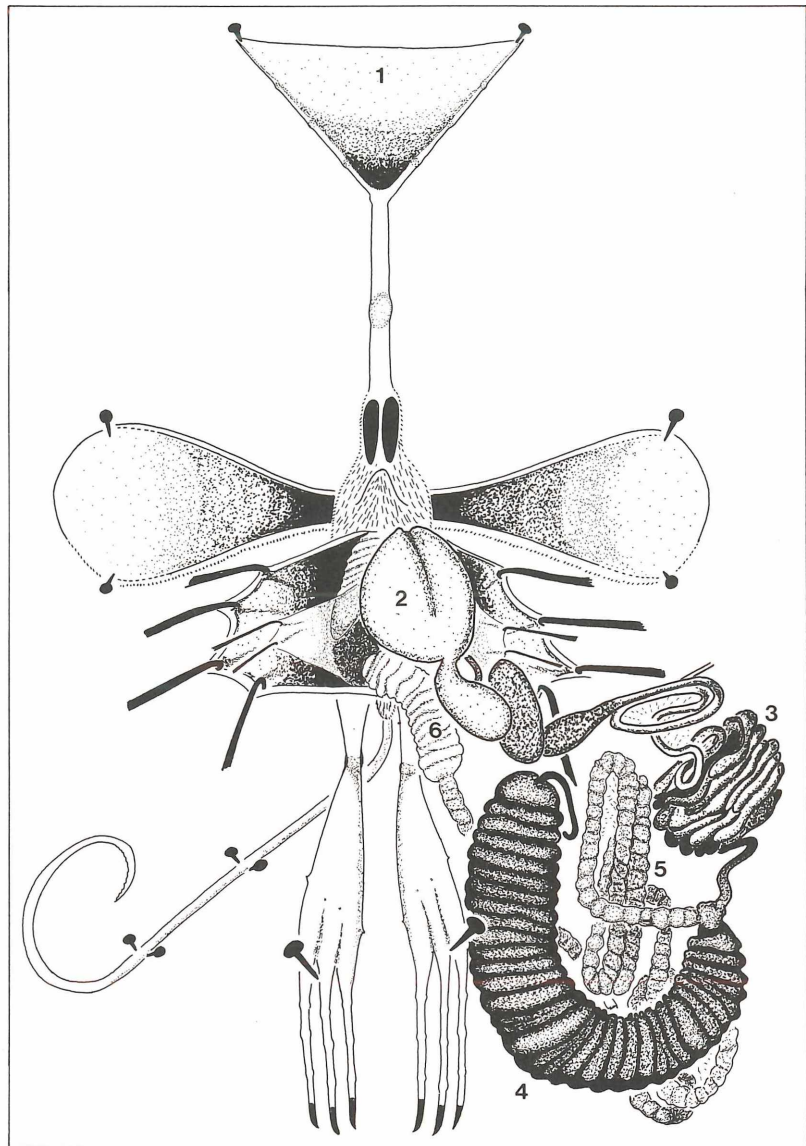


Abbildung 3. *Aurivolans propulsator* PILOTOVA Situs; 1) intrarhinangiale Stabilisator-membran, 2) Rumen, 3) Du-denum, Ileum und Jejunum, 4) Caecum (Windkessel), 5) Co-lon, 6) Propulsionsrectum.

sächliche Homologie zwischen den entsprechenden Teilen an. Der Oesophagus, welcher eine verhornte Schleimhaut aufweist, mündet in einen mehrhöhligen Magen ein, der in eine Pars oesophagialis und eine Pars intestinalis untergliedert ist. Die Pars oesophagialis bildet Rumen, Reticulum und Omasum aus, während das Abomasum von der Pars intestinalis gestellt wird. Das Rumen weist taschenartige Gärkammern auf, in denen ein symbiontisches Bakterium (*Methanobacter dubiosus*) und ein symbiontisches Ciliat (*Rhinodinium rhinomorpha*) siedeln (CNALGASS 1930). Die Psalterrinne ist über das Omasum hinaus verlängert. Sie beginnt im

vorderen unteren Teil des Reticulum, durchquert das Omasum und mündet im Pylorusbereich des Abomasum in den Ductus methanopneumaticus anterior ein. Die Psalterrinne, welche von der kräftigen Lamina muscularis submucosa umgeben ist, kann gegen das Magenlumen hin abgeschlossen werden. Sie bildet dann, zusammen mit dem vollständig in die L. muscularis submucosa des Duodenum eingesenkten Ductus methanopneumaticus anterior eine vollständig geschlossene Röhre aus. Der Ductus methanopneumaticus anterior durchquert Duodenum, Jejunum und Ileum und mündet direkt in das mit Gärkammern versehene

Caecum ein. Die *L. muscularis submucosa* des Caecum ist durch eine besonders mächtige innere Ringmuskelschicht ausgezeichnet. Auch hier sind die Gärkammern wiederum mit *Methanobacter dubiosus* und *Rhinodinium rhinomorpha* besiedelt (CNALGASS 1930). Innerhalb der *L. muscularis submucosa* des Colon ascendens und descendens verläuft, beim Caecum beginnend, der Ductus methanopneumaticus posterior und mündet schließlich in das sogenannte Propulsionsrectum ein. Sieht man von den fehlenden Gärkammern ab, ähnelt das Propulsionsrectum, an welches sich keine Rectalampulle anschließt, in seinem Wandaufbau weitgehend dem Caecum. Das Propulsionsrectum mündet über einen inneren und einen äußeren Analsphincter nach außen. Im Darmverlauf treten mehrfach Zonulae auf. Eine Zonula ist dem Caecum vorgeschaltet und kann bei Bedarf den Zugang vom Ileum zum Caecum und damit auch den Zugang vom Ductus methanopneumaticus anterior zum Caecum unterbinden. Eine weitere Zonula ist dem Propulsionsrectum vorgeschaltet und öffnet und schließt somit den Zugang vom Ductus methanopneumaticus posterior. Sowohl die Muskulatur im Bereich dieser Zonula als auch diejenige der beiden Analsphincter ist quergestreift, was auf eine Herkunft vom somatischen Blatt deuten würde. Sie wären damit von allen anderen muskulären Strukturen im Bereich des Verdauungstraktes unterschieden.

3. Antrieb und Flugverhalten

Der Flug von *Aurivolans propulsator* erfolgt nach dem Entenflügelprinzip. Hierbei wird der Hauptauftrieb von den sehr langen Flugohren erzeugt, während die Stabilisierung und Steuerung vom Nasopodium und hier insbesondere von der intrarhinangialen Stabilisatormembran übernommen wird. Das Tier fliegt dabei mit dem Nasopodium voran und bewegt seine Ohren nur dann, wenn es vermittels Querruderwirkung seine Flugrichtung ändern will. Zum Vortrieb dienen hierbei nicht die Flugohren, wie zu erwarten wäre, sondern es wird ein Rückstoß nach dem Prinzip des Propulsionsmotors erzeugt. Dies wird durch ein tiefes Brummen angezeigt, welches das Tier während des Reisefluges erzeugt. Die Antriebseinheit besteht hierbei aus Rumen, Caecum und Propulsionsrectum, welche als Antriebsmittel Methangas verwendet. Das Methangas wird dabei im Rumen unter Mitwirkung von *Methanobacter dubiosus* und *Rhinodinium rhinomorpha* erzeugt (CNALGASS 1931). Die Nahrung, welche vorwiegend aus Früchten besteht, begünstigt die Gasbildung im Rumen außerordentlich.

In Ruhestellung sitzt das Tierchen in der Regel auf Baumästen in mehr oder weniger großer Höhe. Die Flugohren hängen schlaff herunter und die intrarhinangiale Stabilisatormembran ist nicht entfaltet. Der Startvorgang wird durch ein ca. 2 Minuten andauerndes Füllstoßhüpfen eingeleitet, wobei das Tier auf der Stelle et-

wa alle 10 Sekunden 1–2 cm in die Höhe hüpfte. Während der Phase des Füllstoßhüpfens entfalten sich allmählich die Flugohren, das Nasopodium wird vorgestreckt und die intrarhinangiale Stabilisatormembran wird durch Spreizung der Rhinanges 3 und 4 (die übrigen Rhinanges sind reduziert) gespannt. Danach ist die Phase des Füllstoßhüpfens abgeschlossen. Nunmehr ertönt ein relativ tiefes Brummen, während das Tierchen sich allmählich in den Wind dreht. Kurz danach geht der tiefe in einen wesentlich höheren Brummtönen über und das Tier löst sich zunächst sehr langsam, dann immer mehr an Fahrt gewinnend, von seinem Ast. Es geht sofort in einen äußerst raschen Steigflug über und ist schon nach wenigen Sekunden den Augen des Beobachters entschwunden.

Für den Start muß die Antriebseinheit unter maximalen Methangasbetriebsdruck stehen. Weiterhin ist es erforderlich, daß sich die Betriebsdrücke in Rumen, Caecum und Propulsionsrectum entsprechen. Solange der Gasdruck im Caecum und Propulsionsrectum unterhalb desjenigen im Rumen liegt, erfolgen, ausgelöst vom cardialen Nervenplexus des Rumen, Füllstöße in Form sogenannter retrograder Propulsionsrukti, bis über die Psalterrinne und den Ductus methanopneumaticus anterior und posterior die Methangasbetriebsdrücke von Rumen, Caecum und Propulsionsrectum einander angeglichen sind. Neben dem Cardiateil des Rumens weisen auch Caecum und Propulsionsrectum Druckrezeptoren auf, die die vorhandenen Druckdifferenzen an die Medulla oblongata melden. Die Füllstöße, welche übrigens das Füllstoßhüpfen verursachen, werden dabei solange fortgeführt, bis durch den Methangasbetriebsdruckausgleich eine Einstellung des Füllstoßhüpfens über die Medulla oblongata erfolgt.

Die dem Caecum vorgelagerte Zonula regelt hierbei, als Steuerventil, die Zufuhr der Gasmenge zum Caecum und damit auch indirekt zum Propulsionsrectum. Als Folge des ansteigenden Methangasbetriebsdruckes im Verdauungstrakt wird über die Medulla oblongata die Tätigkeit des aurilären hämodraulischen Systems ausgelöst. Durch sehr raschen Anstieg des Blutdrucks in den Flugohren werden diese allmählich zur Entfaltung gebracht. Ob die Vorstreckung des Nasopodium ebenfalls über die Medulla oblongata ausgelöst wird, ist nicht geklärt.

Der eigentliche Vortrieb wird im Propulsionsrectum erzeugt. Das hierfür benötigte Methangas wird kontinuierlich aus dem als Windkessel funktionierenden Caecum über den Ductus methanopneumaticus posterior in das Propulsionsrectum eingeleitet. Die Gaszufuhrmenge wird dabei über die prärectale Zonula geregelt. Während des Reisefluges (Marschleistung) funktionieren prärectale Zonula und Analsphincter wie Flatterventile, wobei sie allerdings alternierend zueinander betätigt werden. Die Gasausstoßfrequenz beträgt hierbei 50 Hz. (tiefer Brummtönen). Zur Erreichung der Startleistung wird die Gasstoßfrequenz auf 200 Hz. gesteigert (hoher Brummtönen). Hierfür wird die Gaszufuhr zum Propul-

WOAS: *Aurivolans propulsator*

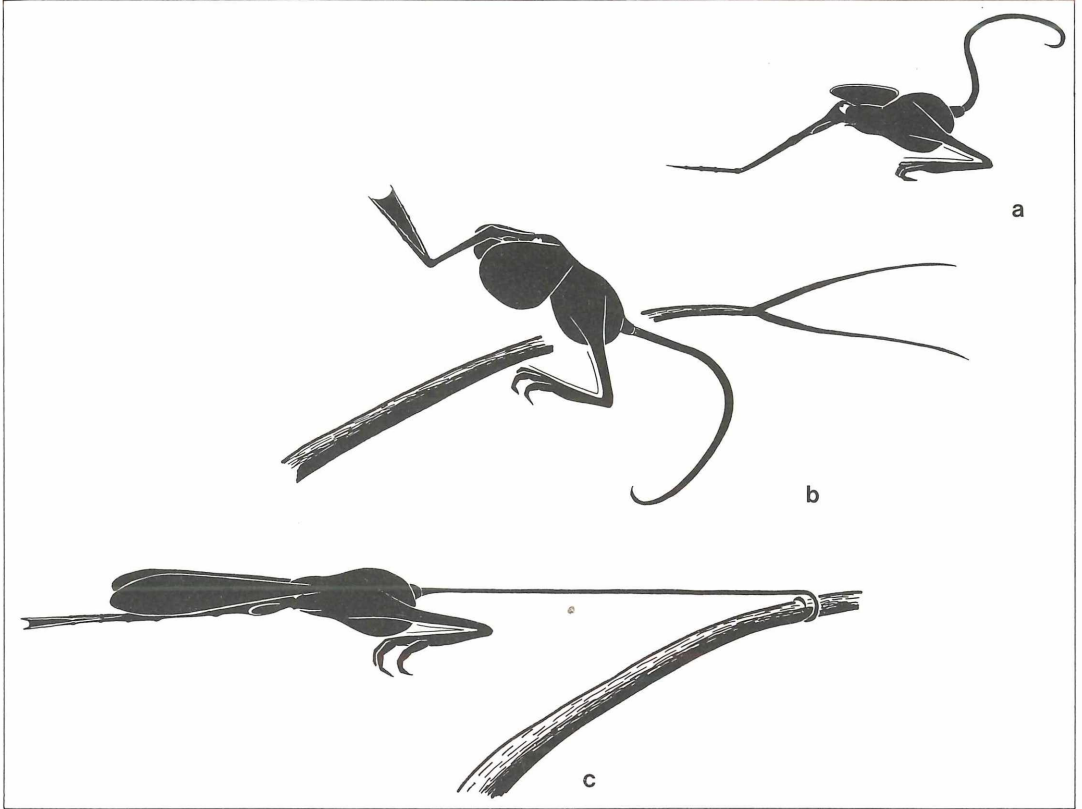


Abbildung 4. Landeanflug von *Aurivolans propulsator* PILOTOVA; a) Reiseflug, b) Abfangvorgang, c) Vernichtung des Vortriebes durch den als Fanghaken wirkenden, äußerst muskulösen und dehnbaren Schwanz des Tierchens.

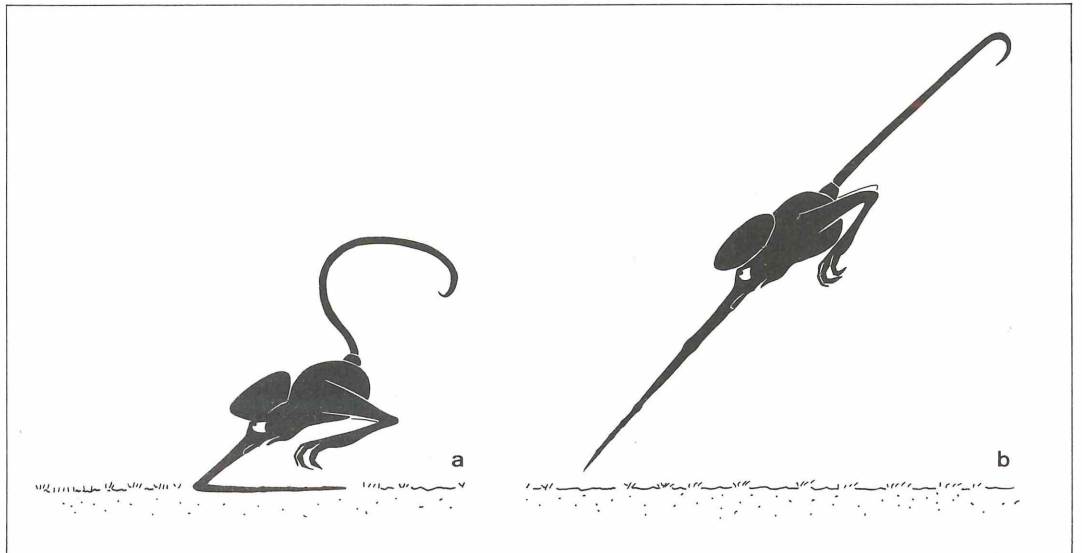


Abbildung 5. Retrogrades Hüpfpringen von *Aurivolans propulsator* PILOTOVA nach erfolgter Notlandung; a) Ruhstellung, b) retrograder Hüpfprung.

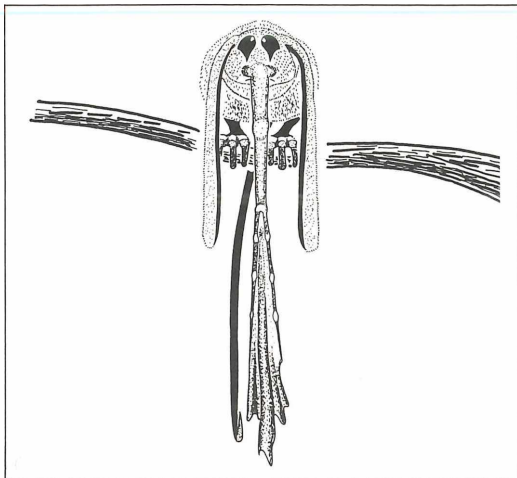


Abbildung 6. *Aurivolans propulsator* PILOTOVA in Ruhestellung; Die Abbildung zeigt das Tierchen nach Außerbetriebnahme des hämodynamischen Systems.

sionsrectum durch die prärectale Zonula unterbrochen. Bei zunächst gleichbleibender Methangasmenge wird der rectale Methangasbetriebsdruck aktiv durch Betätigung der Ringmuskulatur des Propulsionsrectum gesteigert. Hierdurch werden die Analsphincter passiv geöffnet und gehen in Oszillation über. Daher ist die ausgestoßene Methangasmenge pro Zeiteinheit größer als bei Marschleistung und die Schubkraft der Antriebseinheit wird erhöht. Die Startleistung kann dabei über etwa 1 Minute abgegeben werden, bis das Propulsionsrectum vollständig entleert ist. Sie reicht aus, um den Start und den Steigflug bis zur Scheitelflughöhe zu ermöglichen. Nach Erreichen der Scheitelflughöhe geht das Tier in einen sogenannten Transitionsflug ohne Antrieb über. Hierbei schaltet die Antriebseinheit von Start- auf Marschleistung um. Das Propulsionsrectum wird wieder über das Caecum aufgefüllt und gibt, nach kurzer Betriebspause, wieder Gasstöße mit einer Frequenz von 50 Hz ab. Die Landung wird ohne Antrieb als statischer Segler eingeleitet.

Aurivolans propulsator werden außergewöhnliche Flugeigenschaften nachgesagt. So beträgt seine (geschätzte) Anfangsteigleistung 3000 m/min. Bei im Sturzflug befindlichen Tieren soll das Auftreten von Kompressibilitätskissen im Flugohrwurzelbereich beobachtet worden sein. Bedenkt man hierbei die fehlende positive Flugohrpeilung, so müssen im Sturzflug mindestens 0,8 Mach erreicht werden. *Aurivolans propulsator* wäre demnach das schnellste Wirbeltier aller Zeiten. Im horizontalen Reiseflug dürften jedoch Geschwindigkeiten von 0,4 Mach kaum überschritten werden, da die mechanische Trägheit des propulsionsrectalen Flatterventilsystems eine drastische Erhöhung der Gasaustrittsgeschwindigkeit kaum zuläßt.

Der Landeanflug erfolgt ohne Antrieb. Das Abfangen

wird durch Hochstellen der intrarhinangialen Stabilisatormembran und durch Veränderung des Flugohranstellwinkels erreicht. Durch die Spoilerwirkung der intrarhinangialen Stabilisatormembran wird die Aufsetzgeschwindigkeit auf ca. 50 km/h reduziert. Kurz vor Erreichen des Landeastes wird der Schwanz, analog zu einem Fanghaken, abgesenkt und im Vorbeiflug in den Ast eingehakt. Durch starke Dehnung des Schwanzes wird der Vortrieb des Tieres vollständig abgebaut. Die Gummibandwirkung des Schwanzes läßt den Körper anschließend auf den Landeest zurückschnalzen und der Landevorgang ist beendet. Es erfolgt die sofortige Außerbetriebnahme des aurilären hämodynamischen Systems und somit die Erschlaffung der Flugohren. Schließlich wird die intrarhinangiale Stabilisatormembran zusammengeklappt und das Tier nimmt seine Ruhestellung ein oder begibt sich, im Geäst umherhüpfend, auf Nahrungssuche.

Oft geraten die Tierchen in überzogene Flugzustände, was vielfach eine Notlandung zur Folge hat. Hierbei wird nicht der angestammte Landeest aufgesucht, sondern die recht unsanfte Landung erfolgt auf dem Waldboden. Hier kann das Tierchen sich ähnlich wie *Hopsorrhinus aureus* rückwärtshüpfend fortbewegen. Mit Hilfe seines Nasopodium ist das Tierchen in der Lage, sich retrograd auf einen Baumast zu schleudern. Da bei diesem retrograden Schleudersprung gleichzeitig die Flugohren entfaltet werden, können hier Parallelen zum retrograden Schwirrfly des *Otopteryx volitans* nicht verleugnet werden.

4. Literatur

- BOHNHOMME, R. (1936): *Aurivolans propulsator* PILOTOVA, a peculiar ear-winged mammal from the Southern Pacific. – Roy. Navy Amat. Sci., **50** (1): 1–6; Rosyth.
- BONHOMME, R. (1936): The take-off procedures of *Aurivolans propulsator* PILOTOVA. – Roy. Navy Amat. Sci., **50** (4): 200–220; Rosyth.
- BONHOMME, R. (1937): The flight-supporting haemodynamic blood-vessel system of *Aurivolans propulsator* PILOTOVA. – Roy. Navy Amat. Sci., **51** (1): 22–25; Rosyth.
- BONHOMME, R. (1937): Flight-behaviour and flight-control of *Aurivolans propulsator* PILOTOVA. – Roy. Navy Amat. Sci., **51** (3): 167–188; Rosyth.
- BROMEANTE DE BURLAS Y TONTERIAS, J. (1948): A systematica dos Rhinogradentes. – Bull. Darw. Inst. Hi. **7**, 16 S.; Hi-lay.
- CNALGASS, J. E. (1930): New symbiotic Organisms from the intestine of an unrecorded ear-winged mammal from the Southern Pacific. – Roy. Navy Amat. Sci., **44** (1): 20–22; Rosyth.
- CNALGASS, J. E. (1931): Bio-energetics of *Methanobacter dubiosus* nov. spec. and *Rhinodinium rhinomorpha* nov. spec. – Roy. Navy Amat. Sci., **45** (2): 55–65; Rosyth.
- SPILL, H. J. (1930): Denn sie blieben auf See; Schicksale der internationalen Handelsschiffahrt. – Z. Aufrechterh. deutsch. Marinegedankens, **30**, 500 S.; Lunden.
- STUMPKE, H. (1967): Bau und Leben der Rhinogradentia. – 200 S.; Stuttgart (Fischer).
- WALK-WALKER, J. (1930): Operations of British Light Cruisers in the Southern Pacific and in the Far-East. – The Annual Navy-Report, **370**: 1543–2123; Whitehall.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carolinea - Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: [40](#)

Autor(en)/Author(s): Woas Steffen

Artikel/Article: [Museum am Friedrichsplatz: Grundsätzliche Bemerkungen zum Flugvermögen von *Aurivolans propulsator* PILOTOVA \(Mammalia, Rhinogradentia\) 107-112](#)