

Schriften der Sudetendeutschen Akademie
der Wissenschaften und Künste

Band 37

Forschungsbeiträge der Naturwissenschaftlichen Klasse

WERNER NACHTIGALL

Zur Biomechanik der Ausbreitung pflanzlicher Diasporen nach dem Rotationsprinzip

Als Diasporen bezeichnet man im Pflanzenreich Verbreitungskörper, die, von vegetativen Sprossen abgesehen, entweder Früchte oder Samen darstellen. Die Verwendung dieses Begriffs [1] vereinfacht Beschreibungen, weil man nicht immer die botanisch korrekte Herkunft des Verbreitungskörpers (Frucht oder Samen) angeben muss. Diasporen, die im Luftraum verfrachtet werden, benutzen das Ausbreitungsprinzip der Anemochorie. Hierin sind neben sehr kleinen Diasporen, die im Stokes-Bereich langsam absinken, drei hochspezialisierte Unterprinzipien zusammengefasst, nämlich das Fallschirmprinzip, das Gleitflugprinzip und das Rotationsprinzip. In den Berichts-Bänden 31 und 34 der Naturwissenschaftlichen Klasse wurden die beiden erstgenannten Ausbreitungsmöglichkeiten besprochen. Hier soll nun unter Einarbeitung neuerer eigener Experimente und Messungen (Beispiele in Rahmen) abschließend das Rotationsprinzip diskutiert werden. Nach diesem Prinzip lassen sich Schraubenflieger, Schraubendrehflieger und Drehwalzenflieger unterscheiden.

Schraubenflieger

Beispiel: Ahorn (Gattung *Acer*)

Die bekannten Spaltfrüchte der Ahorn-Arten rotieren beim Abwärtsfallen um ihren exzentrisch, nahe dem Nüsschen gelegenen Schwerpunkt. Dabei behalten die Flügel einen konstanten Anstellwinkel zur Schraubenbahn. Sie erzeugen nach dem Windmühlenprinzip dynamischen Auftrieb, der einen Teil ihres Gewichts kompensiert und damit die Sinkgeschwindigkeit verringert. Studieren kann man das Absinkverhalten an zwei einheimischen Ahorn-Arten:

- *Acer platanoides*, Spitzahorn: Die an die 5 cm lange Teilfrucht ist wohl der bekannteste Drehflügler. Die Vorderkante ist versteift, die Hinterkante zart. Der Flügel ist etwas verwunden. Sein Schwerpunkt liegt nahe der Flügelkante des Nüsschens und etwa $\frac{1}{4}$ der Flügeltiefe von der Vorderkante entfernt. Die Teilfrüchte fallen nach klassischen Untersuchungen [2] zunächst über etwa 35 cm trudelnd und mit relativ großer Geschwindigkeit; der Rotationszustand ist noch nicht eingestellt. Danach fallen sie über weitere

rund 65 cm steilrotatorisch (Übergang zum Rotationszustand) und schließlich, stationär (zeitinvariant) eingestellt und bis zur Bodenberührung so bleibend, flachrotatorisch. In diesem Stationärzustand beträgt die Drehzahl etwa 18 s^{-1} und die Sinkgeschwindigkeit rund 1 m s^{-1} .

- *Acer pseudoplatanus*, Bergahorn (Abb. 1, A): Die Nüsschen sind im Gegensatz zur vorgenannten Art etwa kugelig. Die Absinkmechanik verläuft ähnlich.

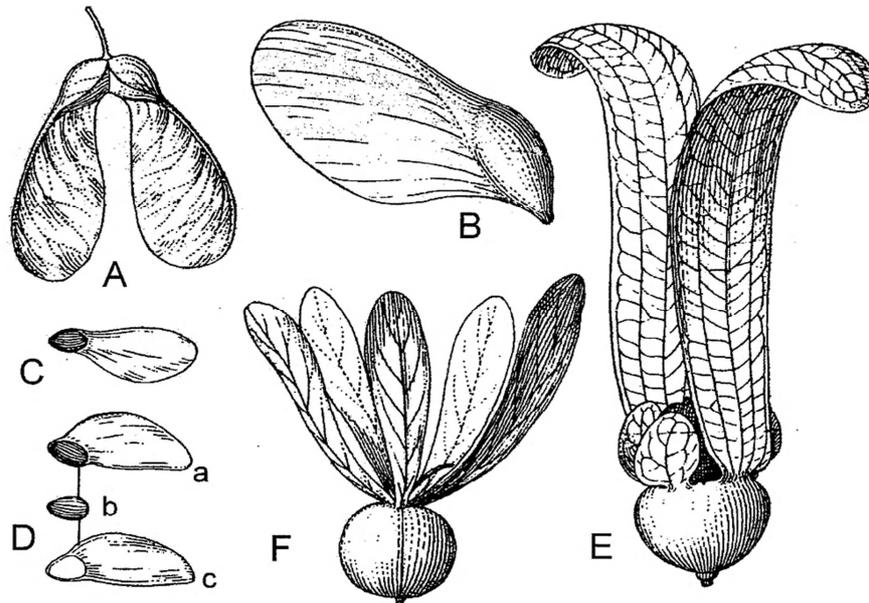


Abbildung 1: Schraubenflieger. A *Acer pseudoplatanus*, Berg-Ahorn, Gesamfrucht; B *Pterygota alata*, Flügel-Pterygote; C *Picea excelsa*, Fichte; D *Pinus sylvestris*, Föhre, a Samen mit Flügel, b Samen, c Flügel; E *Dipterocarpus turbinatus*, Verdrehter Zweiflügelfruchtbaum; F *Dryobalanops aromatica*, Borneo-Kampfer [3]

Damit kann man sagen: Die Existenz einer Flügelfläche reduziert bereits bei experimentell mittig gelegtem Schwerpunkt die Sinkgeschwindigkeit der Teilfrucht auf rund 60 %, die zusätzliche Rotationsfähigkeit durch den normalerweise exzentrisch liegenden Schwerpunkt weiter auf etwa 30 % – ein sehr beachtlicher Effekt.

Welchen Nutzen hat eine Diaspore von einer Reduktion der Sinkgeschwindigkeit? Bei Windstille hat sie keinen Nutzen, wenn man von der physikalisch bedingten Seitabdrift der Drehwalzenflieger (s.u.) absieht. Weht jedoch ein Seitenwind – und das ist praktisch immer der Fall – so wird ein Ausbreitungskörper bei einer gegebenen Seitwindgeschwindigkeit umso weiter vom Ursprung entfernt, je länger er in der Luft bleibt. Mit geringerer Sinkgeschwindigkeit steigt also der Ausbreitungserfolg.

Beispiel: Messung

Die mittlere Sinkgeschwindigkeit einer trockenen, rotierenden Teilfrucht von *Acer platanoides*, Spitzahorn, von 4,5 cm Länge und einer Masse von 0,22 g (Abb. 2a) war $v_{\text{sink}} = 106,92 \pm 4,00 \text{ m s}^{-1}$ ($\pm 3,73 \%$; Angabe Rechenwerte auf 2 Stellen). Dann wurde die Frucht geteilt und so neu zusammengeklebt, dass das im Normalzustand randständige Nüsschen in der Mitte lag (Abb. 2b). Jetzt rotierte sie nicht mehr, und die Sinkgeschwindigkeit stieg auf $v_{\text{sink}} = 229,73 \pm 24,83 \text{ m s}^{-1}$ ($\pm 10,81 \%$); sie war also 2,15mal größer als im Normalzustand. Die Sinkgeschwindigkeit des abgeschnittenen Nüsschens alleine betrug schließlich $v_{\text{sink}} = 368,36 \pm 70,24 \text{ m s}^{-1}$ ($\pm 18,18 \%$) und war somit 3,45mal größer als im Normalzustand. Beachtlich ist auch die vergleichsweise sehr geringe Standardabweichung für den Normalzustand, was dafür spricht, dass sich in diesem Fall bei wiederholten Versuchen ($n = 10$) stets genau derselbe Strömungszustand (Anstellwinkel, Rotationsfrequenz etc.) einstellt.

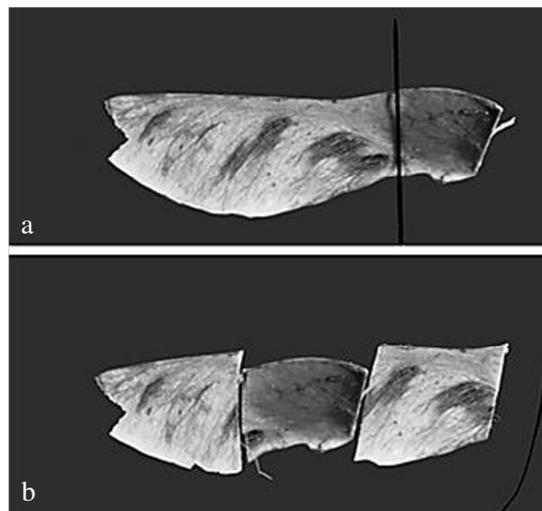


Abbildung 2: Spitzahorn, *Acer platanoides*. a) Teilfrucht unverändert. Insektennadel kennzeichnet den Gleichgewichtspunkt. b) Teilfrucht umgeklebt, Nüsschen mittig

Wie kommt es nun, dass rotierende Diasporen viel langsamer abwärts sinken als nicht rotierende? Man kann das unter Verwendung der Tragschrauber-Theorie rechnerisch nachweisen, qualitativ aber auch durch einen Gedankenversuch verständlich machen.

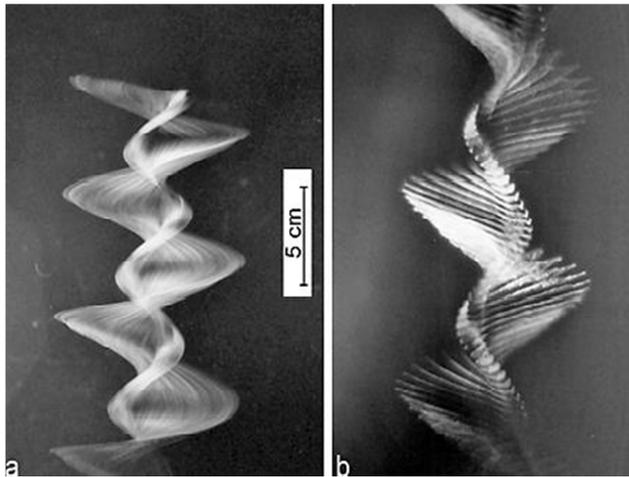
Horizontal streichender Wind dreht einen senkrecht stehenden Windmühlenrotor und übt auf ihn unter anderem eine (hier unerwünschte) Horizontalkraft F_H aus, welche die Lager belastet. Stellt man im Gedankenversuch den abgelösten Rotor waagrecht und läßt ihn fallen, so wird er von unten her vertikal angeströmt („Fahrtwind“) und dreht sich deshalb ebenfalls. Er erzeugt damit eine nach oben weisende Vertikalkraft, den Auftrieb F_A , der dem Gewicht des Rotors entgegengesetzt gerichtet ist.

Da F_A größer ist als die Widerstandskraft F_W des fallenden, aber nicht rotierenden Rotors, fällt er im rotierenden Zustand langsamer als im nicht rotierenden. In ähnlicher Weise wirkt der Rotor eines Autogiros oder eines Hubschraubers, der bei Motorausfall ausgekoppelt wird: Der Schrauber sinkt relativ langsam ab.

Die zur Autorotation bzw. die zur Erzeugung des „Fahrtwinds“ beim freien Fall nötige Energie zieht der Rotor, ganz ähnlich einem gleitfliegenden System, aus dem Höhenverlust; er wandelt also Energie der Lage in Energie der Bewegung um.

Beispiel: Messungen (Abb. 3)

Streak-Aufnahmen von abwärts rotierenden Ahorn-Spaltfrüchten entstehen dann, wenn man hell beleuchtete derartige Früchte vor dunklem Hintergrund mit einer fotografischen Zeitaufnahme (offener Verschluss) aufnimmt (Abb. 3a). Hieran kann man beispielsweise die Bahnneigung ablesen. Wählt man statt der kontinuierlichen Scheinwerferbeleuchtung eine stroboskopische Beleuchtung, so erhält man sich zur Schraubenbahn überlagernde Blitzbilder, aus denen man neben den Geschwindigkeitskomponenten an günstigen Stellen in etwa auch den Anstellwinkel der Druckseite gegen die Raumbahn ablesen kann (Abb. 3b).



*Abbildung 3: Registrierungen des Abwärtsrotierens beim Spitzahorn, *Acer platanoides*. a) Streak-Aufnahme; b) Stroboskop-Aufnahme mit 267 Blitzen pro Sekunde, Blitzabstand 3,75 ms*

Solche Registrierungen zeigen die räumliche Schraubenfläche, in der sich die abwärts rotierende Diaspore bewegt, und in der sie auch gegen ihre Bewegungsrichtung angeströmt wird. Sie entspricht der Gleitbahn beim Gleitflug, und es herrschen hier prinzipiell gleiche Kräfteverhältnisse. Sobald die resultierende Luftkraft gleich dem Gewicht ist, $|F_{\text{res}}| = |F_g|$, ist die Sinkgeschwindigkeit auch auf der Spiralbahn konstant. Wegen der rotatorischen Bewegung kommen hier aber noch Queranströmungen und Tangentialkräfte dazu, welche die Verhältnisse komplizieren, aber nicht prinzipiell verändern. Hier sei lediglich darauf hingewiesen, dass es aerody-

namische Theorien gibt, nach denen man die Sinkgeschwindigkeit v_{sink} solcher Rotationsflieger berechnen kann. Sie treffen die beobachteten Werte recht gut:

Beispiel: Vergleich Rechnung – Messung

*Für die ahornähnlich absinkende Frucht der tropischen Liane *Securidaca longipe-dunculata* hat Hertel berechnet: $v_{\text{sink}} = 0,97$. Dieser theoretische Wert stimmt mit direkten Messwerten ($v_{\text{sink}} \approx 1 \text{ m s}^{-1}$) gut überein [4].*

Der Rechenwert des Beispiels ist im Übrigen um den Faktor 1,3 größer (schlechter) als er bei einem technischen Fallschirm der üblichen Form und mit gleicher Kreisfläche wäre. Umgekehrt kann man dann sagen, dass das biologische System immerhin 77 % der Effizienz eines hochentwickelten technischen Fallschirmsystems erreicht, und das mit einer vergleichsweise beachtlichen Materialersparnis, denn die Flügelfläche der im Beispiel genannten Art ist 7mal kleiner als die Kreisfläche, die dieser Flügel beschreibt.

Die flachrotatorische Sinkweise der Ahorn-Diasporen kann man mit technischen Hilfsmitteln, nämlich mit einem aufwärts blasenden Windkanal, praktisch beliebig lang einstellen und so diesen interessanten Flugzustand studieren. Im Deutschen Museum zu München ist ein derartiger Demonstrationsversuch aufgebaut. Originalbeschreibungen der hier kurz vorgestellten Messungen finden sich bei [5] bis [8], Effekte kleinster Reynoldszahlen bei [9].

*Beispiel: Linde (Gattung *Tilia*)*

Un erwartet komplex stellt sich die Situation bei den Linden-Diasporen dar, die im Herbst geradezu in Wolken herabregnen. Der Grund liegt in der Existenz eines mächtigen Hochblatts.

- *Tilia platyphyllos*, Sommerlinde: Mehrere Früchte sind über etwa 3 cm lange Stielchen mit einem etwa 6 bis 7 cm messenden, länglichen und verwunden eintrocknenden Hochblatt verbunden. Der Schwerpunkt dieser Diasporen liegt tief. Sie sinken in gemischt rotatorisch-trudelnder Weise, wobei sie sich auch bei Windstille etwas seitlich versetzen können.
- *Tilia cordata*, Winterlinde: Diese Art trägt mehr und weniger kantige Früchte am Hochblatt. Das Absinken erfolgt ähnlich wie bei der Sommerlinde.

Bei beiden Arten sinkt die Gesamtdiaspore in ruhender Luft sehr deutlich langsamer ab als die kugelige Frucht. Des Weiteren werden die rotierend-vertikal absinkenden Diasporen beim Durchsinken eines Seitwindfelds „mit Schlupf“ umso weiter verfrachtet, je höher ihr Strömungswiderstand ist. Dabei spielen widerstandserzeugende Anhänge, in erster Linie die Hochblätter, eine entscheidende Rolle.

*Beispiel: Absinken von Diasporen und Diasporenteilen der Sommerlinde *Tilia platyphyllos* in ruhender Luft und in einem Seitwindfeld.*

*In ruhender Luft betrug die Sinkgeschwindigkeit der Gesamtdiaspore $1,4 \text{ m s}^{-1} \pm 18,9 \%$, die der Diaspore ohne die kugelige Frucht $0,94 \text{ m s}^{-1} \pm 28,6 \%$, die der Kugelfrucht alleine $2,69 \text{ m s}^{-1} \pm 7,1 \%$ (jeweils $n = 15$). Beim Durchsinken eines Seitwindfelds von $7,5 \text{ cm}$ Höhe, erzeugt von der Düse eines mit bis zu 7 m s^{-1} laminar blasenden horizontalen Windkanals, wurde die kugelige Frucht alleine kaum abgelenkt, die nicht rotierende Gesamtdiaspore stärker, die rotierende Gesamtdiaspore am stärksten. Im Vergleich dazu erfolgte die Ablenkung und Einstellung auf die Blasgeschwindigkeit bei den leichten Fallschirmchen des Löwenzahns (*Taraxacum spec.*) praktisch schlagartig, wie die Abb. 4 in halb-schematischer Darstellung zeigt.*

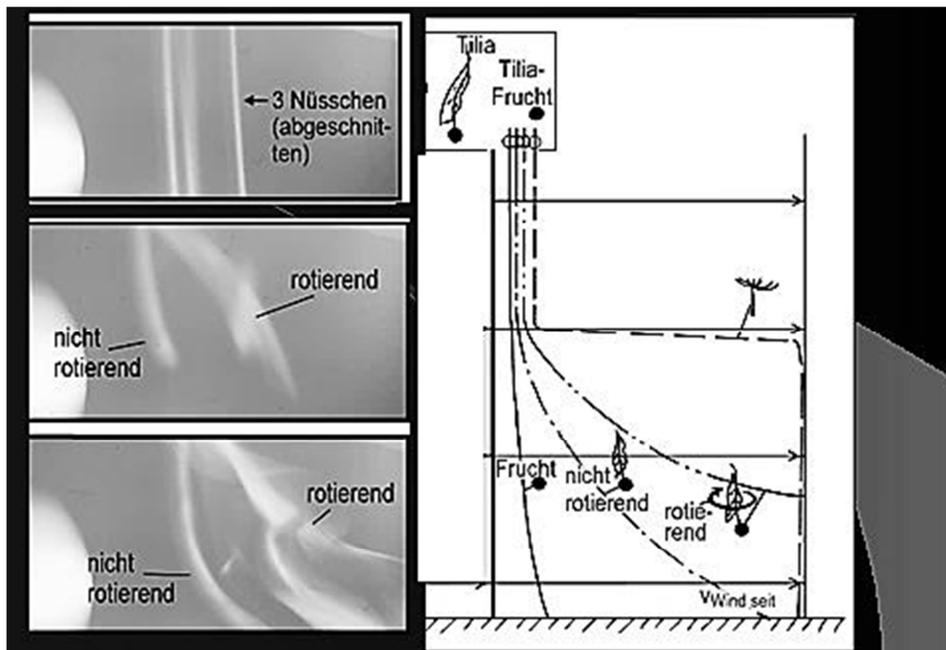


Abbildung 4: Zusammenfassung von Absinkversuchen vor der Düse eines horizontal blasenden Windkanals; Absinkbahnen unterschiedlicher Diasporen (teile) in Seitwindfeld konstanter Geschwindigkeit. Links Originalregistrierungen im Streak-Verfahren, rechts Abstraktionen. Der Kanal bläst von links nach rechts.

Das Tragesystem der Diaspore, also Stiel und Hochblatt, reduziert damit die Sinkgeschwindigkeit der kugeligen Frucht alleine auf 53 %, also grob auf die Hälfte. Im Seitwindfeld vergrößert sich durch die Existenz des Hochblattes, das trotz seiner Größe nur 23 % der Gesamtmasse einnimmt, wegen der großen Windangriffsfläche der Widerstand der nicht rotierenden Gesamtdiaspore im Verhältnis zum Widerstand der kleinen Kugelfrucht allein auf nicht weniger als das 33-Fache (!). Durch

die Rotation ist dieser Effekt noch sehr viel deutlicher ausgeprägt. Über eine gegebene Sinkstrecke beträgt damit das Verhältnis der Seitabdrift-Strecken $S_{\text{seit rotierende Diaspore}} / S_{\text{seit Kugelfrucht alleine}}$ mindestens 20:1.

Das Hochblatt der Tilia-Diasporen wirkt somit letztendlich in viererlei Hinsicht:

- Es reduziert die Sinkgeschwindigkeit bereits beim rotationsfreien Absinken.
- Es setzt nach kurzer drehfreier Sinkstrecke die Diaspore in Rotation und reduziert damit die Sinkgeschwindigkeit noch stärker.
- Es sorgt dafür, dass die Diaspore vom Seitwind rascher mitgenommen wird.
- Es sorgt dafür, dass die Diaspore während des Absinkens weiter an die Seitwindgeschwindigkeit, d.h. die mögliche Endgeschwindigkeit, herangeführt wird.

Diese vier Effekte spielen so zusammen, dass die Diaspore in einem gegebenen Seitwind-Geschwindigkeitsfeld eine möglichst große Strecke über Grund getrieben wird und damit den maximalen ökologischen Ausbreitungseffekt erfährt.

Die Natur konstruiert oft so, dass eine morphologische Struktur ihre Funktion auf mehreren Parallelpfaden ansteuert.

Weitere Schraubenflieger

- *Picea excelsa*, Fichte (Abb. 1, C); *Pinus sylvestris*, Föhre (Abb. 1, D): Die etwa 1,5 cm langen Samen tragen einen exzentrischen Flügel. Sie sinken drehflüglerartig, ähnlich den Ahorn-Arten. Ihre Sinkgeschwindigkeit beträgt 53 und 83 cm s⁻¹.
- *Carpinus betulus*, Hainbuche: Die Flughaut ist dreizipfelig; das Nüsschen sitzt an der Basis des etwas längeren mittleren Zipfels. Beim Absinken können diese Diasporen zwischen Rotations-, Trudel- und Gleitflug schwanken. Die Sinkgeschwindigkeit beträgt rund 120 cm s⁻¹.
- *Pterygota alata*, tropisch-asiatische Flügel-Pterygote (Abb. 1, B). Das Nüsschen sitzt dem Flügel schräg an.
- *Dipterocarpus turbinatus*, ostindischer verdrehter Zweiflügelfruchtbaum (Abb. 1, E): 2 der 5 Flügelansätze der Frucht sind lang ausgewachsen und an den Enden verdrillt-umgebogen. Insbesondere diese beiden Enden versetzen die Frucht beim Abwärtssinken in wirbelige Drehung – der gleiche Effekt, den die Linden mit ihrem einen, verdrehten Hochblatt erreichen. Dadurch verringert sich nicht nur die Sinkgeschwindigkeit und erhöht sich folglich ein Seitwindeffekt. Wegen immer vorhandener morphologischer Unregelmäßigkeiten scheint es auch bei Windstille zu einer Seitabdrift zu kommen, wieder ähnlich den Linden.
- *Dipterocarpus grandiflorus* BLANCO, tropisch-asiatischer großblütiger Zweiflügelfruchtbaum (Abb. 1, F): Der größte seiner Gattung besitzt Nussdurchmesser bis 7 cm, Flügellängen bis 25 cm und Massen bis 32 g.

- *Dryobalanops aromatica*, Borneo-Kampfer (Abb. 1, F): Hier besteht der Schopf aus 5 gleichgroßen Flügeln.

Ulbrich stellt für Diasporen-Formen von *Dipterocarpus* und *Dryobalanops* eine eigene Kategorie auf, die der „Federballflieger“ [3]. Diese Bezeichnung ist nach morphologischen Kriterien gut gewählt, doch ist sie nicht funktionell. Die verwundenen Flügelenden induzieren eine *stationäre Rotation*, das ist das Wesentliche. Sie wirken genauso wie der Einzelflügel eines Ahornsamens. Da Gruppenbezeichnungen das Funktionelle herauskehren sollen, reihe ich diese Formen ebenfalls in die Funktionsgruppe der „Schraubenflieger“ ein.

Schraubendrehflieger

Neben der Bewegung auf einer spiralförmigen Abwärtsbahn rotieren diese Diasporen um wechselnde Achsen, die nahe der Längsachse liegen. Es lässt sich vermuten, dass diese komplizierteren Drehflieger, die Drehungen um 2 Achsen kombinieren, eine bessere Effizienz haben als die „einfachen“ vom Ahorn-Typ. Sinkgeschwindigkeits-Messungen bestätigen diese Vermutung aber nicht.

Beispiel: Esche (Gattung *Fraxinus*)

Fraxinus excelsior, Esche (Abb. 5, B): Die lanzettliche, etwa 2 cm lange und 100 mg schwere Nuss trägt seitlich 2 längliche unregelmäßig gekrümmte Flügelansätze. Der Schwerpunkt liegt etwas exzentrisch. Nach 1-2 m Fallstrecke rotieren die Diasporen um die Längsachse und trudeln oder rotieren zudem um der Vertikalen naheliegende, zeitlich wechselnde Achsen. Mit etwa 200 cm s^{-1} sinken sie relativ rasch ab. Als Winterstehler werden sie aber nur von stärkeren Winden abgerissen und dann hochgewirbelt und so trotz ihrer vergleichsweise hohen Sinkgeschwindigkeit weit verbreitet.

Weitere Schraubendrehflieger

- *Ventilago leiocarpa* BENTH., ein tropischer Kletterstrauch (Abb. 5, C): Die Frucht sitzt in der Längsachse des lang ausgezogenen Flügels.
- *Liriodendron tulipifera*, Tulpenbaum (Abb. 5, A): Das Nüsschen sitzt in Verlängerung des gekielten Flügels; Einzelfrüchte fallen aus dem zapfenartigen Fruchtstand.
- *Ailanthus glandulosa*, Götterbaum: Das Nüsschen der 22 mg wiegenden Diaspore liegt leicht exzentrisch in einer unsymmetrisch herumlaufenden, in Längsrichtung verlängerten, etwas schraubig verdrehten Flughaut. Beim Abfallen stellt sich die Diaspore etwas horizontal, rotiert also etwas um ihre Längsachse – ein Sonderfall, der den im Folgenden genannten Drehwalzenfliegern nahe kommt – und sinkt auf einer Spiralbahn. Die Sinkgeschwindigkeit beträgt nach der Literatur 91 cm s^{-1} .

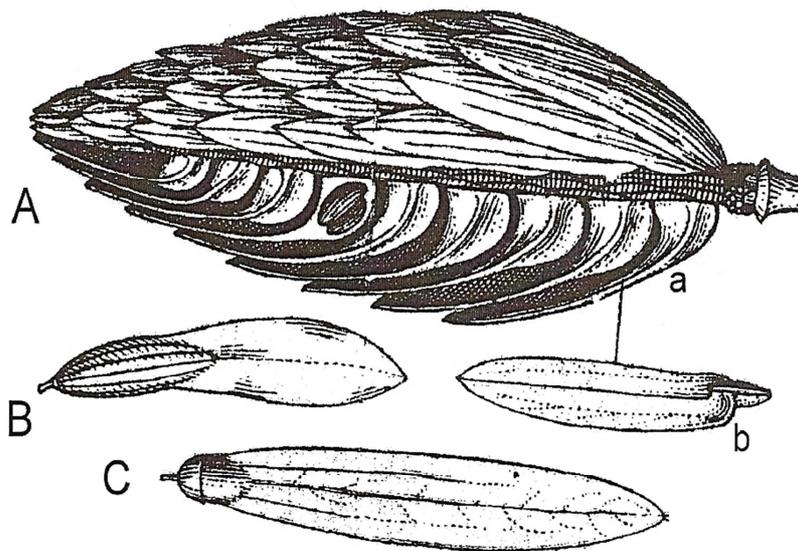


Abbildung 5: Schraubendrehflieger. A *Liriodendron tulipifera*, Tulpenbaum, a Fruchtstand, ein Sektor entfernt, b einzelne Frucht; B *Fraxinus excelsior*, Esche; C *Ventilago leiocarpa*, Glattfrüchtiger Kletterstrauch [3]

Drehwalzenflieger

Eine Reihe von Früchten – seltener Samen – sind walzenförmig ausgebildet und tragen 3 bis 5 – zumeist 4 – rundherum angeordnete, dünne aber breit ausgezogene Flügelsäume. Diese verringern nicht nur die Fallgeschwindigkeit. Beim Abfallen rotieren solche Diasporen häufig, und wenn die Rotationsachse (Längsachse der Frucht) angenähert horizontal steht, fallen sie meist nicht genau senkrecht, sondern – auch bei Windstille – eine gewisse Strecke seitlich verdriftet. Damit erhöhen sich die Verbreitungsstrecken. Da dies einen speziellen Mechanismus darstellt, sind die ansonsten üblicherweise unter den Flügelfliegern eingeordneten Drehwalzenflieger hier als eigene Kategorie genannt.

Die Seitabdrift von Drehwalzenfliegern geht auf den physikalischen Magnus-Effekt zurück.

Ein Zylinder, den man mit horizontaler Längsachse fallen lässt, wird von unten angeströmt (Parallelanströmung), erfährt ein symmetrisches Stromlinienbild und damit lediglich eine aufwärts gerichtete Widerstandskraft F_w . Rotiert der Zylinder aber beim Abwärtsfallen, so überlagern sich die Parallelanströmung und die durch die Rotation um den Zylinder induzierte Zirkulationsströmung. Das Stromlinienbild wird asymmetrisch, so dass eine Druckdifferenz auftritt, in deren Folge eine senkrecht zu F_w gerichtete Kraftkomponente resultiert, für die sich der Begriff der Quer-

kraft F_Q eingebürgert hat. Diese sorgt dafür, dass der rotierend fallende Zylinder mit größerer Fallstrecke immer weiter (nach der Unterdruckseite hin) von der Senkrechten seitlich abgelenkt wird.

Wenn Drehwalzenflieger mit angenähert horizontaler Drehachse abwärts fallen, also von unten angeströmt werden, setzen sie sich wegen unvermeidlicher kleiner Unsymmetrien im Flügelbereich in Rotation, so dass sich der Magnus-Effekt auswirken kann.

Beispiel: Langfaden (Gattung *Combretum*)

Versuch:

Eine trockene Diaspore von *Combretum gallabatense*, tropischer Langfaden, (Masse 0,92 g, Gesamtlänge 5 cm, größte Breite 5,5 cm) wurde bei Windstille (Labor) genau senkrecht über dem Ursprung eines auf der Bodenfläche aufgebrauchten Koordinatensystems 50mal rotierend fallengelassen.

Interessanterweise wurde nie das Zentrum getroffen; es ergab sich eine eher schleifenförmige Verteilung mit einer deutlichen Exzentrizität. Deren Abweichung vom Fadenkreuz betrug mit rund 7 cm etwa 4 % der Fallstrecke. Die Richtung der Abweichung entsprach der physikalischen Erwartung.

Wäre die im Beispiel angeführte Diaspore bei Windstille aus 30 m Höhe gestartet, hätte sie durch ihre drehwalzenartige Bewegung eine seitliche Abdrift von immerhin 1,25 m erreicht. Es gibt Gründe, warum sie in der Realität deutlich größer sein dürfte. Einzelmessungen wie diese sind zwar noch nicht beweiskräftig, doch unterstützen sie die physikalische Grundidee, die meines Wissens mit diesem Beispiel erstmals auf Probleme der Diasporologie angewandt worden ist.

Weitere Drehwalzenflieger

- *Rheum palmatum*, Rhabarber (Abb. 6, A); einige *Rumex*-Arten, Ampfer: Solche einheimischen Formen besitzen kleine Früchte, die häufig, aber nicht immer, drehwalzenartig abwärts fallen.
- *Cavanillesia hylogeiton*, ein bis 50 m hoher Baum des tropischen Südamerika: Mit 25 cm langen, keulenförmigen Früchten und 5 mächtigen, aber papierdünnen Flügeln von 8 – 9 cm Maximalbreite (größter Durchmesser bis 18 cm) weisen diese größten bekannten Drehwalzenflieger im reifen Zustand nur eine Masse von etwa 10 g auf.
- *Combretum gallabatense*, ein tropischer Langfaden-Baum (Abb. 6, B): Die bis 4 cm lange Nuss trägt 4 Flügel.
- *Combretum lawsonianum*, ein weiterer tropischer Langfaden-Baum (Abb. 6, C): Die Frucht trägt 5 Flügel, die ihr ein fast kugelförmiges Aussehen verleihen.

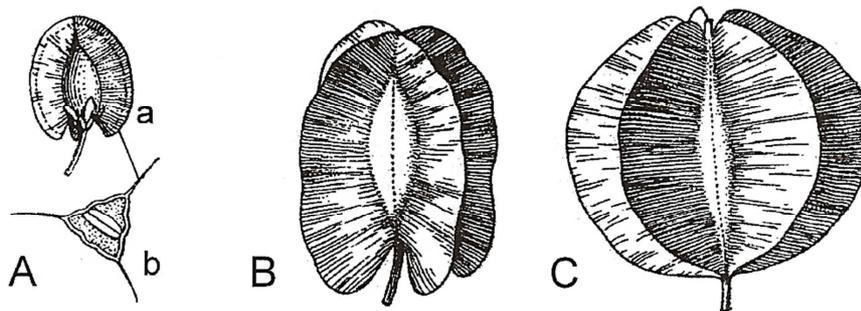


Abbildung 6: Drehwalzenflieger. A Rheum palmatum, Rhabarber, a Frucht in Draufsicht, b Frucht quergeschnitten; B Combretum gallabatense, ein Langfaden-Baum; C Combretum lawsonianum, ein Langfaden-Baum [3]

Zusammenfassend kann man sagen, dass Rotationsflieger in der Lage sind, ihre Sinkgeschwindigkeit im Vergleich zum nicht-rotatorischen Zustand drastisch zu reduzieren und damit Seitwinde längere Zeit auszunutzen. Für deren Ausnutzungsgrad sind widerstandserzeugende Diasporenteile, wie etwa die Hochblätter der Lindenfrüchte, ausschlaggebend. Drehwalzenflieger nutzen darüberhinaus den Magnus-Effekt, um eine Seitabdrift zu erzeugen.

Danksagung

Der Autor dankt dem Springer-Verlag für die Reprogenehmigung der Abbildungen, die mit [3] gekennzeichnet sind.

Literatur

- [1] Leins P, Erbar C. Blüte und Frucht. Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion, Ökologie. Schweizerbarth, Stuttgart, 2008
- [2] Dingler H. Die Bewegung der pflanzlichen Flugorgane. Ein Beitrag zur Physiologie der passiven Bewegungen im Pflanzenreich. Ackermann, München, 1889
- [3] Ulbrich E. Biologie der Früchte und Samen (Karpobiologie). Springer, Berlin, 1928
- [4] Hertel H. Biologie und Technik. Struktur-Form-Bewegung. Krausskopf, Mainz, 1963
- [5] Nachtigall W. Bau und Funktion von Drehflügler-Diasporen. Teil 3: Wie die „Nasenzwicker“ der Ahorn-Arten abwärts rotieren. *Mikrokosmos* 2012;101(4):225-229
- [6] Nachtigall W. Bau und Funktion von Drehflügler-Diasporen. Teil 4: Die Früchte des tropischen Langfadens *Combretum gallabatens* als Drehwalzenflieger. *Mikrokosmos* 2012; 101(5): 263-267
- [7] Nachtigall W. Bau und Funktion von Drehflügler-Diasporen. Teil 5: Die Samen der Esche als Schraubendrehflieger. *Mikrokosmos* 2012;101(6):341-343
- [8] Nachtigall W. Bau und Funktion von Drehflügler-Diasporen. Teil 6: Wenn die Linden-Früchte herabregnen. Zur Windverbreitung von Diasporen der Sommer-Linde. *Mikrokosmos* 2012; 102(1):16-19
- [9] Stokes GG. Gesetz von: s. z.B. Bergmann-Schaefer, p.363 (1990), in der Anwendung auf das Absinken des Planktons Nachtigall, *Mikrokosmos* 88(3), 1999, 157