

WERNER NACHTIGALL

**Zur Anemochorie der „Federbällchen“ –
Diaspore des Afrikanischen Oscherstrauchs *Calotropis procera*¹**

Zusammenfassung

Der für viele Asclepiadaceen typische Haarschopf dieser Diaspore ist hygroskopisch, breitet sich bei Trockenheit weit aus und reduziert dadurch effektiv die Sinkgeschwindigkeit, im Vergleich zum Nüsschen alleine um 85% bzw. auf 15%. Im Gegensatz zur Kratzdistel mit relativ wenigen, aber gefiederten („Bremsfortsätze“) Pappushaaren tut er das mit einer größeren Zahl ungefiederter Pappushaare. Beide Diasporen erreichen so die gleiche, geringe Sinkgeschwindigkeit von 30 cm/s mit unterschiedlichen Mitteln. Die *Calotropis*-Diaspore wird in ihren morphologischen und verbreitungsbiologischen Eigenheiten beschrieben und bildlich dokumentiert.

Summary

Anemochory of „featherball“ –
diaspore of the African Giant Milkweed *Calotropis procera*

The pappus, which is typical for the diaspores of many Asclepiadaceae, is hygroscopic and opens itself widely at dry weather thus reducing effectively sinking speed, compared to the nutlet alone, at 85% down to 15%. Contrary to *Cirsium*, that has comparatively less but feathered (“braking appendages“) pappus hairs, it is doing so by using a higher number of unfeathered pappus hairs. Thus both diaspores attain the same small sinking speed of 30 cm/s by using different means. The diaspore of *Calotropis* is described and illustrated with respect to its anemochoric and morphological peculiarities.

Einleitung

Die Diaspore des Afrikanischen Oscherstrauchs *Calotropis procera* („Schönkiel, Kielkrone, Apple of Sodom, Giant Milkweed“) trägt – wie andere Asclepiadaceen-Gattungen, zum Beispiel *Asclepias*, *Marsdenia*, *Cynanchum* auch – einen langen Haarschopf, der sich in der Trockenheit fast kugelförmig ausbreitet und so die Sinkgeschwindigkeit des Samenkorns verlangsamt. Geringere Sinkgeschwindigkeit v_{sink}

¹ Nachtigall W. Originalarbeit gleichen Titels in: *Mikroskopie* 2024;1:1-5

pappustragender Diasporen ermöglicht eine längere Nutzung von Seitwinden und damit eine weitere Verbreitung der Diaspore über Grund („Anemochorie“). Neuere Diskussionen der verbreitungsbiologischen Bedeutung von v_{sink} im Zusammenhang mit der Bögigkeit und der Grenzschicht des Windes über dem Boden findet sich bei [1-3] am Beispiel des Löwenzahns und der Kratzdistel.

Wegen ihrer Mächtigkeit wurden die Haarschöpfe von *Calotropis* und *Asclepias* als Stopfmateriale für Kissen verwendet und kamen bisweilen als geringwertige (weil brüchige und hygroskopische) „Pflanzendaunen“ in den Handel [4].

An Material aus der Marokkanischen Wüste wurde die Anpassung der Diasporen an geringe Sinkgeschwindigkeit näher untersucht. Im Text stehen gerundete Mittelwerte; in Tabelle 1 sind die Rechen-Endwerte, zusammen mit statistischen Kenngrößen angegeben, prinzipiell auf zwei Kommastellen.

Tabelle 1: Messdaten an Diasporen von Calotropis procera

| Morphologie |
|---|
| Länge Nüsschen $l = 7,58 \text{ mm} \pm 0,26 \text{ mm} (\pm 3,39\%); n = 10$ |
| Maximalbreite Nüsschen $b_{\text{max}} = 5,11 \text{ mm} \pm 0,17 \text{ mm} (\pm 3,25\%); n = 10$ |
| Seitenverhältnis Nüsschen $l / b_{\text{max}} = 1,48 \pm 0,044 (\pm 2,97\%); n = 10$ |
| Durchmesser ausgebreiteter Schopf: $6 \text{ cm} < d_{\text{Schopf}} < 7 \text{ cm}$ |
| Zahl der Pappushaare: $n_{\text{Haare}} \approx 750$ |
| Mittlere Länge eines Pappushaars $l_{\text{Haar}} \approx 3,5 \text{ cm}$ |
| Mittlere Dicke eines Pappushaars $d_{\text{Haar}} \approx 30 \mu\text{m}$ |
| Masse und Gewichte (nach Wägung im Pulk mit $n = 50$) |
| Gesamtdiaspore = 10,8940 mg und 0,1069 mN |
| Nüsschen = 7,751 mg und 0,076 mN |
| Schopf = 3,143 mg und 0,0308 mN |
| Prozentualer Anteil der Samenmasse an der Gesamtmasse: 71,15% |
| Prozentualer Anteil der Schopfmasse an der Gesamtmasse: 28,85% |
| Sinkgeschwindigkeiten |
| Gesamtdiaspore: $v_{\text{sink}} \text{ gesamt} = 30,03 \text{ cm s}^{-1} \pm 4,37 \text{ cm s}^{-1} (\pm 14,54\%); n = 16$ |
| Nüsschen alleine: $v_{\text{sink}} \text{ Nüsschen} = 199 \text{ cm s}^{-1} \pm 18 \text{ cm s}^{-1} (\pm 8,89\%); n = 10$ (nach Messungen im Pulk zu je 20 Nüsschen) |
| Schopf alleine: $v_{\text{sink}} \text{ Schopf} = 12,27 \text{ cm s}^{-1} \pm 1,02 \text{ cm s}^{-1} (\pm 8,31\%); n = 10$ |
| Reduktion von $v_{\text{sink}} \text{ gesamt}$ im Vergleich mit $v_{\text{sink}} \text{ Nüsschen}$: um 84,01% (auf 15,09%) |

Methodik

Von einer elektromagnetisch ausgelösten Startplattform S_p einer speziell gebauten Registriereinrichtung [1] fielen vollständige Diasporen (Abb. 2a) oder ihre abgeschnittenen Pappi (Abb. 2b) einer vertikal angeordneten 30 cm-Blitzröhre entlang (Blitzfrequenz bis ca. 10 s^{-1} ; Einzelblitz-Belichtungszeit ca. $1/1000 \text{ s}$). Die Blitzfrequenz wurde über einen netzgesteuerten Zeigermotor mit genau 1 U s^{-1} präzise eingeeicht. Gegen einen schwarzen Hintergrundkasten wurde 1 Sekunde belichtet (22 DIN, Blende 8). Über einen mit fotografierten Längenmaßstab lässt sich daraus die Sinkgeschwindigkeit v_{sink} berechnen.

Ergebnisse

Die rund 10 cm langen und bis zu 6 cm dicken Kapseln (Abb. 1a) sind doppelwandig; der Zwischenraum enthält im Trockenzustand ein feines Raummaschenwerk ehemaliger Parenchymzellen. Zentral enthalten sie eine etwa 1,5 cm im Durchmesser messende Struktur von der Form eines kleinen Fichtenzapfens (Abb. 1a) mit zentraler ehemaliger Placenta; die Nüsschen sind peripher angeordnet wie Zapfenschuppen; in der zentralen weißen Masse erstrecken sich distal die eng zusammengelegten Pappuschöpfe. Die trockene Kapsel öffnet sich mit einem Längsriss und entlässt etwa 350 Diasporen, deren Schöpfe sich in der Trockenheit rasch breittrichterförmig ausbreiten (Abb. 1b).

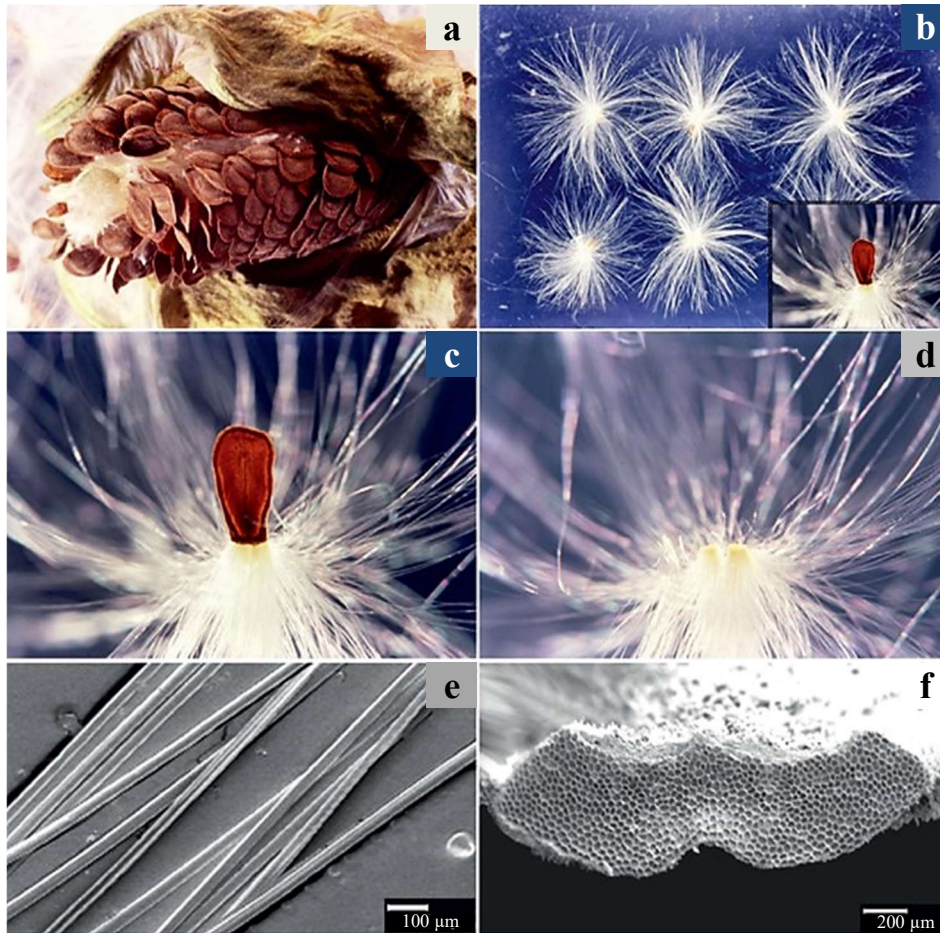


Abbildung 1: Morphologie der Diasporen von *Calotropis procera*. a: Teilaufgesprungene Kapsel, Anordnung der Nüsschen in der Kapsel, Schöpfe proximal zusammengelegt. b: Einzelne Diasporen; Einschaltbild: Befiederte Diaspore von *Cirsium vulgare*. c, d: Pappusansatz mit und ohne Nüsschen. e: Ausschnitt Haarmitte, REM. f: Pappus-Kontaktfläche zum Nüsschen, REM (vgl. d).

Das Nüsschen der Diaspore (Abb. 1c) ist flachgedrückt, mit dünnerem Saum umrandet, im Mittel 8 mm lang und 5 mm breit. Es besitzt eine Masse von 8 mg und ein Gewicht von 0,08 mN.

Der Schopf bildet einen der Kugelform angenäherten breiten Fächer von beachtlichen 6-7 cm Durchmesser (Abb. 1b) und besteht aus ca. 750 dünnen Pappushaaren von etwa 3,5 cm mittlerer Länge und 25 μm mittlerem Durchmesser (Abb. 1e), die im Gegensatz zur ähnlich kugeligen, aber kleineren Diaspore von *Cirsium vulgare* (Einschaltbild in Abb. 1b) keine Bewimperung („Bremsfortsätze“ [1]) tragen. Er sitzt in Form einer präformierten Bruchstelle mit längselliptischer, verschmälter Basis (Abb. 1d, f) dem Samenkorn an und besitzt eine Masse von 3 mg und ein Gewicht von 0,03 mN.

Die prozentualen Massen- und Gewichtsanteile des Samenkorns und des Schopfes an der Gesamtdiaspore betragen etwa 70% und 30%.

Die Sinkgeschwindigkeit der Gesamtdiaspore beträgt nach Abb. 2 rund 30 cm s^{-1} , des Samenkorns alleine rund 200 cm s^{-1} und des Pappus alleine rund 12 cm s^{-1} . Somit erhöht der Pappus zwar das Gewicht des Samenkorns um 41%, senkt damit aber seine Sinkgeschwindigkeit um 85% bzw. auf 15%. Die Massenverteilung des Pappus in Form langer, dünner Schopfhaare, von denen jedes einzelne aus strömungsmechanischen Gründen einen extrem hohen Widerstandsanteil erzeugt, ist also sehr funktionell.

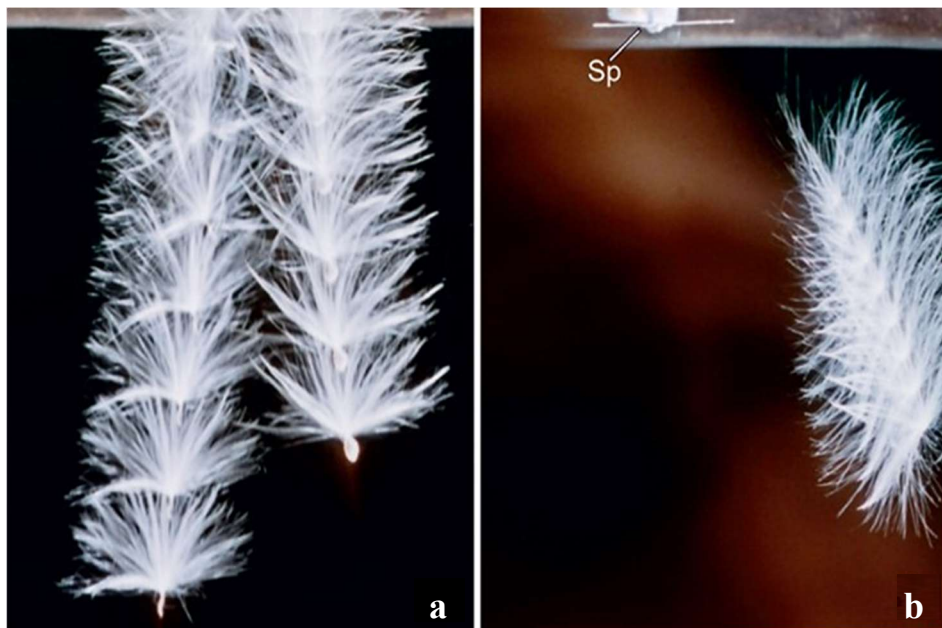


Abbildung 2: Absink-Registrierungen von Diasporen(teilen) von *Calotropis procera*. a: Zwei Gesamtdiasporen. b: Nur Pappus; Sp Startplattform, als Maßstab nutzbare Breite 4,8 cm. Blitzfrequenz $10,3\text{ s}^{-1}$. Temperatur $18,5^\circ\text{C}$, Luftdruck 986 hPa, rel. Feuchte 80% (Keller). Pappi nicht ganz kugelförmig geöffnet; in trockener Luft ist nach Messungen an anderen Pappi v_{sink} maximal um etwa 10% geringer).

Zum Vergleich weitere Mittelwerte von anderen Arten (Artangaben in [1-3]): *Taraxacum officinale*: $v_{\text{sink}} = 29,75 \text{ cm s}^{-1}$, Reduktion auf 17%, $Re_d = 290$. *Cirsium vulgare*: $v_{\text{sink}} = 29,09 \text{ cm s}^{-1}$, Reduktion auf 12%, $Re_d = 790$. Trotz der viel schwereren Diaspore (*Taraxacum*: 1,16 mg) erreicht *Calotropis procera* mit der spezifischen Pappus-Ausgestaltung ebenfalls 30 cm s^{-1} und eine etwa gleichartige Reduktion auf 15%. Die *Geschwindigkeits*-Kenngrößen der *morphologisch unterschiedlichen* Pappus-Flieger sind also erstaunlich ähnlich. Die morphologische Basis für die Erzeugung eines großen Widerstands beim Absinken ist aber durchaus unterschiedlich, wie ein Vergleich zweier „Federbällchen“-Flieger zeigt.

Diskussion

Vergleich *Calotropis* mit *Cirsium*

Während die *Calotropis*-Diaspore ca. 700 – 800 etwa 3,5 cm lange und nur 25 μm dicke, unbefiederte Pappushaare aufweist, trägt die ähnlich langsam absinkende Diaspore von *Cirsium vulgare* (Abb. 1b, Einschaltbild) nur 50 – 60 ca. 2 cm lange Pappushaare von 70 – 100 μm Dicke, die aber mit etwa 3.000 „Bremsfortsätzen“ von 3 – 4 mm Länge und 10 – 15 μm Durchmesser besetzt sind. *Cirsium* setzt somit mehr auf Widerstandserzeugung durch sehr dünne „Bremsfortsätze“ (aus langgezogenen Einzelzellen), die an Trägerstrukturen (Pappushaaren) sitzen; die Sinkgeschwindigkeit eines abgeschnittenen, in Längsrichtung angeströmten Pappushaars mit „Bremsfortsätzen“ ist 3-mal geringer als ohne diese. Dagegen sind bei *Calotropis* die zahlreichen, sehr dünnen Pappushaare selbst die Widerstandserzeuger.

Es bestätigt sich also auch hier die alte Biologen-Weisheit: Unterschiedliche Strategien können zu gleichen Effekten führen.

Am Beispiel der *Cirsium*-Diaspore werden die physikalischen Zusammenhänge, zum Beispiel auch zugeordnete Reynoldszahl-Effekte, diskutiert [3]. Im vorliegenden Fall beträgt die auf den Durchmesser des Schopfes (6,5 cm) bezogene Reynoldszahl $Re_d \text{ Schopf} = 1,3 \cdot 10^3$, die auf die Haardicke (25 μm) bezogene $Re_d \text{ Haar} = 5 \cdot 10^{-1}$.

Verdriftung

Bei Windstille würde die *Calotropis*-Diaspore aus 5 Meter Höhe also in 17 Sekunden den Boden berühren. Bereits ein leiser Zug von 1 m s^{-1} (Windstärke 1) würde sie aus dieser Höhe 17 Meter von diesem Berührungsort entfernen, eine schwache Brise von 5 m s^{-1} („Baumblätter schwach bewegt“; Windstärke 3) bereits 85 Meter, ein steifer Wind von 16 m s^{-1} (bewegt schwache „Baumstämme“; Windstärke 7) schon 272 Meter. Hinter umströmten Bodenobjekten, zum Beispiel auch anderen *Calotropis*-Büschen, verändert sich der Grenzschichtverlauf; es bilden sich „Dellen“ und große Wirbelballen mit Aufwindanteilen. Sobald die letzteren eine größere Geschwindigkeit erreichen als 30 cm s^{-1} , was im Allgemeinen schon bei geringeren mittleren Windgeschwindigkeiten der Fall ist, werden die Diasporen hochgehievt und geraten in der Windgrenzschicht in Regionen stärkerer Horizontalgeschwindigkeit, wodurch sie ihrerseits noch weiter verbreitet werden.

Bei Bodenkontakt entstehen Biegemomente, die den Pappus an seiner präformierten

Bruchstelle (Ansatz) leicht als Ganzes abbrechen lassen und somit das Samenkorn freisetzen (Abb. 1c, d, f), das daraufhin ankeimen kann und so seine Art verbreitet.

Danksagung

Das Material wurde von Prof. Dr. I. Rechenberg, Berlin, mitgebracht. Ich widme diese Arbeit dem Andenken an den verdienten Bionik-Pionier. Die REM-Aufnahmen und die Zusammenstellung der Abbildungstafeln besorgte Dr. A. Wissler/St. Ingbert, das beschriftete Layout Prof. Dr. J. Piper, Herausgeber der Zeitschrift *Mikroskopie*.

Referenzen

- [1] Nachtigall W. Biomechanik von Flugsamen. Teil 1: Mikrostrukturierung und Verringerung der Sinkgeschwindigkeit der Fallschirmchen des Löwenzahns. *Mikrokosmos* 2009;98:153-158
- [2] Nachtigall W. Biomechanik von Flugsamen. Teil 2: Stabilität und Verbreitung der Fallschirmchen des Löwenzahns. *Mikrokosmos* 2009;98:198-205
- [3] Nachtigall W. Biomechanik von Flugsamen. Teil 3: Die Federbällchen der Kratzdistel als Meister der Windverbreitung. *Mikrokosmos* 2009;98:266-271
- [4] Ulbrich E. Biologie der Früchte und Samen (Karpobiologie). Springer Verlag, Berlin 1928

Anschrift des Verfassers:

Prof. em. Dr. rer. nat. Werner Nachtigall
Fachrichtung Biologie der Universität des Saarlandes
Universität, Bau A 2.4, Raum 043
Im Stadtwald 6
D-66041 Saarbrücken
E-Mail: nachtigall.werner@t-online.de