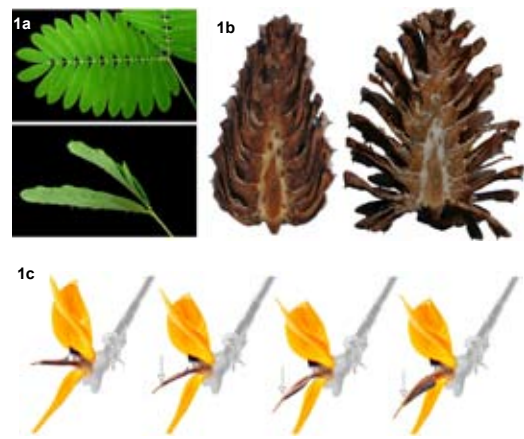


Gelenkfreie Klappen bei *Strelitzia reginae*

Simon Poppinga^{1,3}, Julian Lienhard^{2,3}, Simon Schleicher^{2,3}, Tom Masselter^{1,3}, Jan Knippers^{2,3}, Thomas Speck^{1,3}

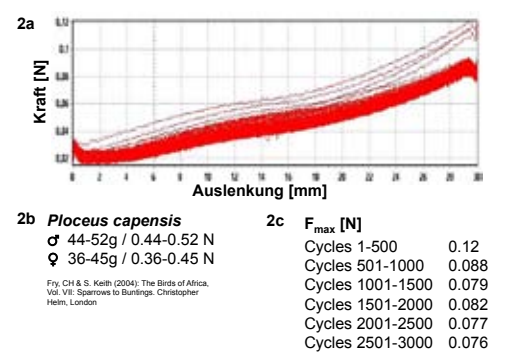
1 Plant Biomechanics Group Freiburg, Botanic Garden, Faculty of Biology, University of Freiburg, Germany
 2 Institute of Building Structures and Structural Design, University of Stuttgart, Germany
 3 Competence Networks Biomimetics and BIOKON e.V.

Der Klapp-Bestäubungsmechanismus der Paradiesvogelblume (*Strelitzia reginae*) zeigt eine reversible elastische Deformation mit hohem biomimetischen Potential. Er ist das biologische Vorbild für den gelenkfreien, stufenlos einstellbaren Klappmechanismus Flectofin®.



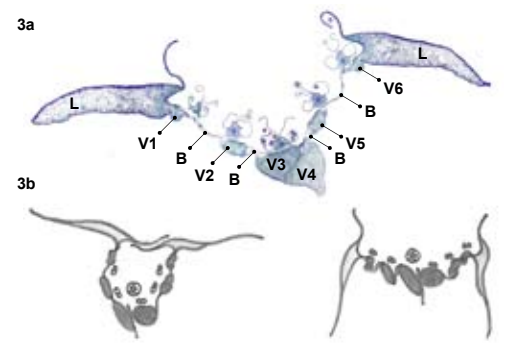
Modellsystem

Neben autonom-aktiven und autonom-passiven Bewegungen (1a, b) gibt es bei Pflanzen eine Vielzahl an nicht-autonomen, reversiblen elastischen Deformationen, die nach Aufbringen externer mechanischer Kräfte ablaufen. Als Fallbeispiel wurde der Klapp-Bestäubungsmechanismus der Paradiesvogelblume (*Strelitzia reginae*) untersucht (1c). Die Strelitzie bietet bestäubenden, Nektar suchenden Vögeln eine Sitzstange aus zwei verwachsenen Blütenblättern zum Landen an, die sich durch das Gewicht des Vogels nach unten biegt. Hierbei wird zugleich in einer horizontalen Bewegung eine die Staubblätter umschließende, flächige Lamina nach außen geklappt. Durch das Freilegen dieser Staubblätter wird der Pollen auf den Körper des Vogels appliziert und kann beim Besuch des Vogels auf der nächsten Blüte auf deren Narbe übertragen werden.



Biomechanik

Die für die Deformation benötigten Kräfte (0,08-0,12 N) sind um ein Vielfaches geringer als die von den bestäubenden Vogelarten aufgebrachtten Gewichtskräfte (z.B. vom Kapweber *Ploceus capensis*, 0,36-0,52 N) (2a, b). Der Klappmechanismus kann über 3000 mal hintereinander ausgelöst werden. Die Kraft-Weg-Kurven bleiben sehr ähnlich, lediglich die benötigte Kraft nimmt graduell leicht ab (2c). Neben den aus diesen Befunden resultierenden Fragestellungen zur Bestäubungsbiologie von *Strelitzia reginae* ist für eine bionische Umsetzung vor allem die funktionelle Morphologie der Blüte, die eine so hochgradig repetitive, reversible Deformation erlaubt, interessant.



Morphologie

Die beiden verwachsenen, das Klappsystem formenden Blütenblätter zeigen zusammen im Querschnitt einen monosymmetrischen Aufbau (3a). Beiderseits gibt es jeweils drei verstärkte Leisten (V), die durch dünnes Blütenblattgewebe (B) miteinander verbunden sind. Die beiden unteren Leisten (V3 & V4) sind auf zellulärer Ebene miteinander verzahnt. Im oberen Bereich wird das System durch die aufsitzenden flächigen Laminae (L) abgeschlossen. Durch Aufbringen einer vertikalen Kraft auf die Sitzstange verformen sich Leisten und Laminae und es kommt zum Aufklappen der Blüte, wie hier in einer Schemazeichnung dargestellt (3b).



Abstraktion

Die zum Durchbiegen der einzelnen Leisten-Lamina-Elemente benötigten Kräfte führen zum Biegedrillknicken (*torsional buckling*) der Leiste, und die Lamina klappt hierbei seitlich weg. Dieses Verhalten zeigt sich auch wenn man ein solches Element in abstrahierter Form nachbaut (4): Folienstreifen, die auf einen flexiblen Plastikstab befestigt sind, biegen sich nach Aufbringen einer vertikalen Kraft ebenfalls seitlich weg. Diese Kinematik wurde auf Materialebene weiterführend untersucht und in ersten bionisch Prototypen für eine konkrete Anwendung (gelenkfreie Fassadenverschattung) umgesetzt.

Projektförderung: BMBF – BIONA "Bionische Innovationen für nachhaltige Produkte und Technologien"

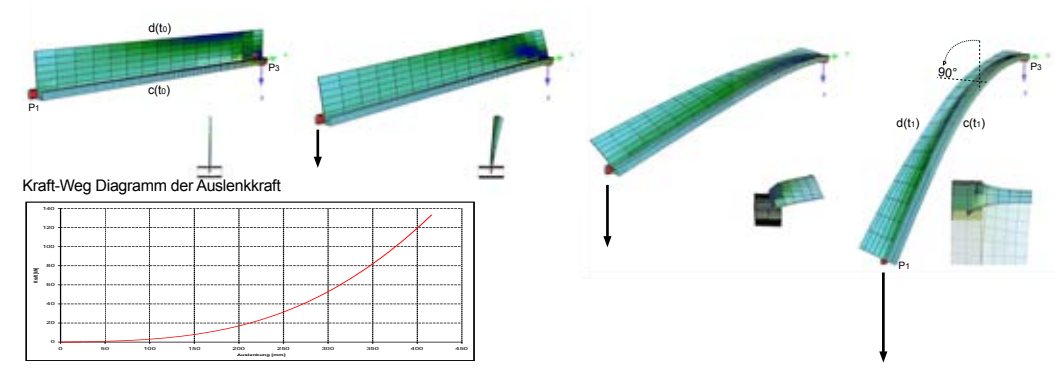
Optimierung und Weiterentwicklung des Flectofin®

Julian Lienhard¹, Simon Schleicher¹, Jan Knippers¹, Simon Poppinga², Tom Masselter², Thomas Speck², Julian Sartori³, Anja Walter³, Markus Milwich³, Thomas Stegmaier³

1 Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE), University of Stuttgart, Germany
 2 Plant Biomechanics Group Freiburg, Botanic Garden, Faculty of Biology, University of Freiburg, Germany
 3 Institute of Textile Technology and Process Engineering, ITV Denckendorf, Germany



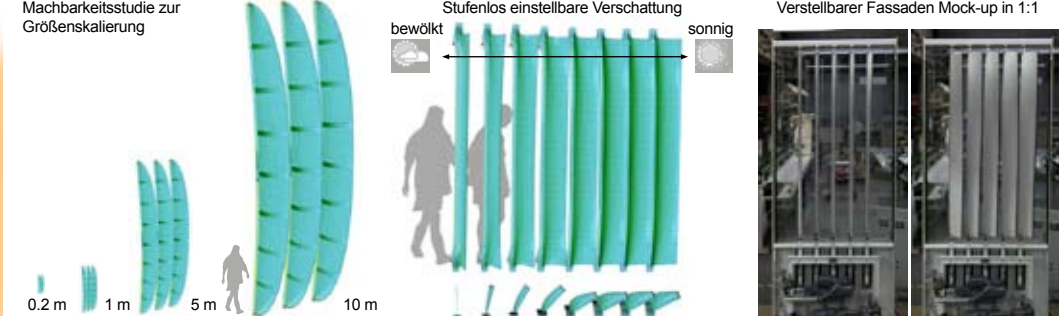
Simulation und Transfer



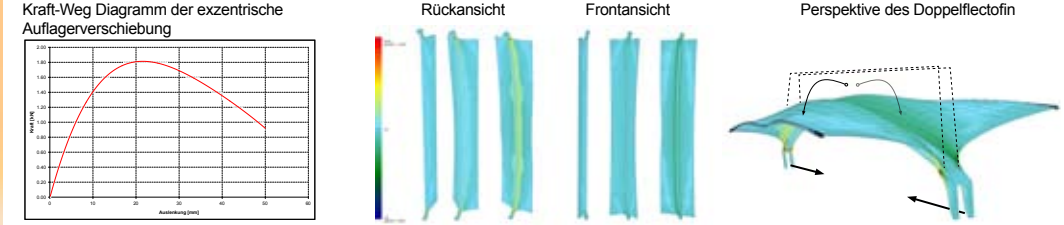
Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Biegsame Flächentragwerke“ werden elastische Verformungsprinzipien auf der Grundlage pflanzlicher Bewegungsmechanismen untersucht und technisch umgesetzt.

Der hier vorgestellte Flectofin® ist ein gelenkloser, stufenlos verformbarer Klappmechanismus, bei dem die Ausrichtung eines flächigen Bauteils (Lamelle) graduell und stufenlos verändert werden kann. Diese elastische Verformung wurde aus der Biegekinematik von *Strelitzia reginae* abgeleitet, und für Verschattungssysteme in der Architektur weiterentwickelt. Das Seitwärtsbiegen der Lamelle wird dabei durch das Herunterbiegen eines angeschlossenen Stabes (Rückrad) hervorgerufen. Diese Verformung basiert auf einer Versagensart namens Biegedrillknicken. Aufgrund dieser eintretenden schiefen Biegung klappt die Lamelle um bis zu 90° um. Dieses Grundprinzip lässt sich nun zu verschiedenen Versionen des Flectofin® weiterentwickeln da sich die Kinematik nicht nur problemlos skalieren sondern auch beliebig koppeln lässt.

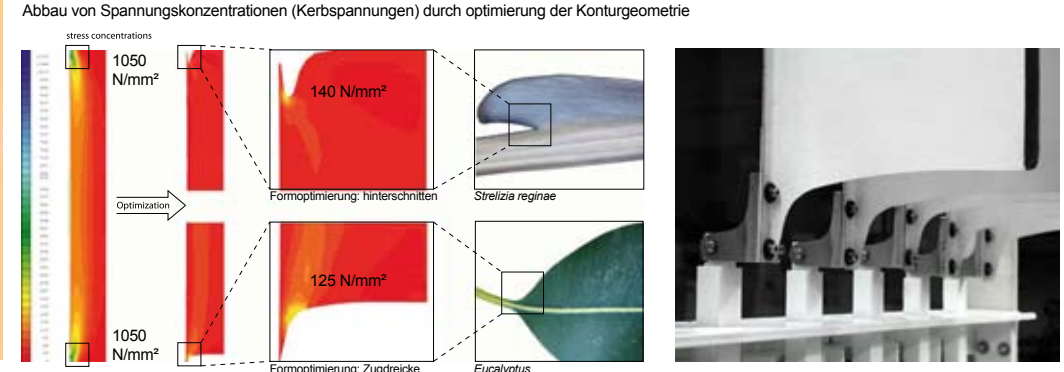
Skalierung



Weiterentwicklung



Optimierung durch Reverse Bionik



Der Doppelflectofin beispielsweise veranschaulicht diese Vielseitigkeit und verbindet ähnlich dem pflanzlichen Vorbild zwei Lamellen mit einem Rückrad. Dies erhöht den angestrebten Verschattungsgrad des Bauteils und macht zudem das System erheblich steifer.

Die Kinematik des Flectofin® wurde als Gemeinschaftserfindung angemeldet und als Marke eingetragen.