



Warum bricht der Ast nicht unter seiner eigenen Last ab? Der Modellbau untersucht die Verbindung von Stamm und Ast (fächerübergreifender Unterricht an der MLU Halle, 2011)

## Bionik – Modellbau: Wieso können Bäume aufrecht stehen? Zum Phänomen von Stütz- und Tragfähigkeit in der Pflanzenwelt

In einem Bionik-Workshop im Rahmen der fächerübergreifenden Lehre im Bereich Grundschule der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg stellte eine Gruppe von Studierenden anfangs folgende einfache Fragen, die einen physikalischen bzw. technischen Blick auf Pflanzen erfordern: Warum fallen Bäume nicht schon beim ersten starken Windstoß um? Wieso können Bäume überhaupt aufrecht stehen? Warum brechen die Äste von Bäumen unter der Last des Laubes, des Regenwassers oder gar des Schnees nicht sofort ab? Warum halten Gras- oder Getreidehalme oft auch sehr starke Windböen aus? Überhaupt – warum ist Holz ein ideales Baumaterial? So eröffnen diese Fragen einen Spannungsbogen von physikalischen Bauprinzipien der Pflanzenwelt zu deren Nutzung innerhalb architektonischer oder technischer Gestaltungen.

Biophysikalische Konstruktionsprinzipien werden in den einzelnen Naturwissenschaften (Biologie und Physik) mit aufwendigen Versuchsanordnungen untersucht und schließlich als komplexe Phänomene, bei denen vielfältige Faktoren zusammenspielen, rekonstruiert. Dennoch lassen sich bereits durch einfache Beobachtungen sehr leicht elementare Prinzipien stützender und tragender Konstruktionen von Pflanzen erkennen, denn fast jede der sichtbaren Formen im Wuchs einer Pflanze dient der Erhaltung ihrer Stabilität.

### Ein kleiner Konstruktionskatalog

Pflanzen wie Bäume oder Gräser sind in erster Linie vertikal ausgerichtete Formen; sie wachsen vom Boden aus in die Höhe. Daher sind sie besonderen Belastungen durch seitlichen Druck ausgesetzt, beispielsweise Windböen, Spülwasser, Steinschläge oder Lawinen. Dieser Druck wird durch die unter- und die überirdische Konstruktion der Pflanzen ausgeglichen, sodass ein Umkippen oder Abbrechen zumindest bis zu einer bestimmten, für jede Pflanzensorte typischen Maximalbelastung nicht möglich ist (Foetzki 2004). Meist denkt man zuerst an ein tief in das Erdreich reichendes oder ein in die Breite sich verästelndes Wurzelwerk, das ein Umkippen vom schweren Bäumen verhindert. Oft ist aber die Bruchgefahr durch stark einwirkende Seitenkräfte, etwa von Sturmböen, viel größer. Den Ausgleich dieser extremen Kraftwirkungen leisten Pflanzen durch besondere Formen des Quer- und des Längsschnittes.

### Klassenstufe 4 und 5/6

#### INTEGRALE SUBJEKTSCHWERPUNKTE

- kulturelles und materiell-technisches Subjekt

#### TEILKOMPETENZEN

- Bauformen der Natur und deren physikalische Wirkungszusammenhänge erkennen
- Einfluss der Natur auf technische Probleme in der Architektur und im Design kennenlernen
- Papiermodellbau nach methodischen Reihen
- Experimente zu Kraftuntersuchungen durchführen und auswerten

#### MATERIALIEN

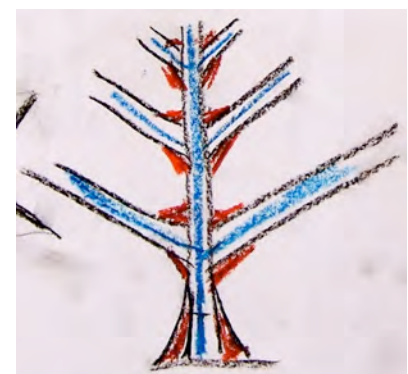
- Bildmaterial aus Natur und Technik
- Papier, Pappe, Scheren, Klebeband
- Federkraftmesser
- Faltvorlagen dieser Arbeitsblätter

#### ARBEITSZEIT 2 X 45 MIN.

#### LITERATURHINWEISE

- Bareis, A. (1992): Werken. Praxis in der Grundschule mit Unterrichtsbeispielen von S. Stiegelmayr, Donauwörth
- Belzer, S. (2010): Die genialsten Erfindungen der Natur. Bionik für Kinder, Frankfurt am Main
- Foetzki, A. u.a. (2004): Die mechanische Stabilität von Bäumen: das Projekt Baumstabilität des FB Naturgefahren, in: Forum für Wissen, Birmensdorf, 35-42
- Nachtigal, W. (2008): Bionik. Lernen von der Natur, München

© Autor/Fotos: J.Penzel

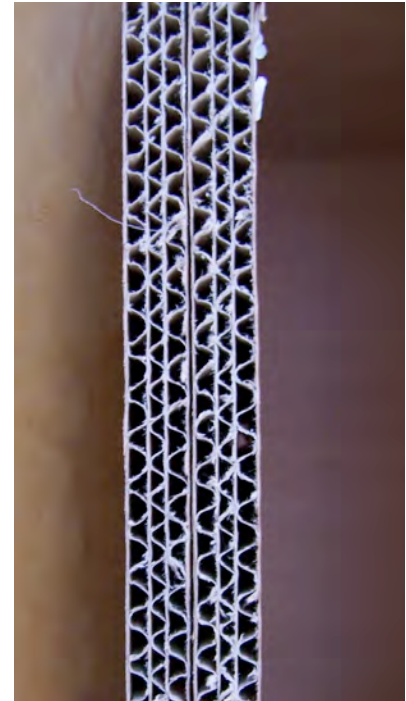


Zeichnerische Untersuchung der Aussteifung im Astansatz von Bäumen

**Rundung:** Alle Halme, Stängel und Stämme von Pflanzen sind im Querschnitt rund aufgebaut. Einer der Gründe ist die Ermöglichung von Stabilität. Die gerundete Querschnittsform ist überhaupt dafür verantwortlich, dass Pflanzen aufrecht stehen können. Das verdeutlicht am einfachsten ein Grashalm oder auch eine Zimmerpflanze: Ein einzelnes Blatt dieser Pflanzen ist unmittelbar über der Wurzel bzw. am Halm gerundet und entfaltet sich erst im oberen Bereich zu einer schmalen Flächenform. Dieser gerundete, halbkreisförmige Querschnitt im unteren Bereich erlaubt es, dass diese Formen aufrecht stehen.

**Experiment:** Ein längliches Blatt Papier wird zunächst flach hingestellt, was nicht möglich ist. Anschließend wird es gerollt, sodass sich eine Röhre bildet, die nun aufrecht stehen kann. Die Zylinder- oder Röhrenform ermöglicht es, eine Fläche in den Raum zu erheben und ein Mindestmaß an Stand- und Druckfestigkeit zu sichern. Eine Abstraktion dieser Rundung stellt eine einfache Faltung in V-Form oder eine mehrfache in W-Formen dar.

**Anwendung:** Derartige einfache Wellungen oder Faltungen finden beispielsweise bei Well- oder Sandwich-Pappe eine Anwendung. Dabei wird gewellte oder gefaltete Pappe zwischen zwei flache Bögen geleimt, sodass das gesamte Verbundmaterial eine höhere Druck- und Torsionsbelastung aushält.



Beispiel für Faltung und Schichtung in der Technik: Sandwich-Pappe



links: Blätter des Bogenhanfs (lat.: sansevieria); rechts: verschiedene Papierfaltungen

**Schichtung:** Pflanzenstängel oder Baumstämme sind aber nicht nur einfach gerundet, sondern meist schließen verschiedene runde Schichten ringförmig aneinander, sodass sich der Pflanzenquerschnitt sukzessive vergrößert. Das kann man am besten bei den Jahresringen von Bäumen erkennen – mit jeder neuen Schicht wächst der Stamm. Das hat zwei Effekte: Einerseits bildet sich so mehr Material, das einen höheren Widerstand für die angreifenden Kräfte bietet. Damit trotz die Pflanze vor allem starken Druckkräften aus einer Richtung. Andererseits führt ein Querschnitt aus zusammengesetzten Ringen dazu, dass jeder Ring ein in sich geschlossenes Kraftsystem bildet, also eine einzelne stabile Röhre. Durch die Summierung dieser geschichteten Röhren erfolgt eine Verstärkung der Festigkeit. Diese Ringstruktur des Querschnittes wirkt zugleich auch auf die Steifigkeit eines Halmes oder Stammes, das heißt auf drehende Kräfte, die beispielsweise durch Wind in den Ästen auf die gesamte Längsachse von Bäumen übertragen werden. Die Ringe reagieren damit auf die einwirkenden Druck- und Drehkräfte und verleihen der Pflanze eine hohe Stabilität.



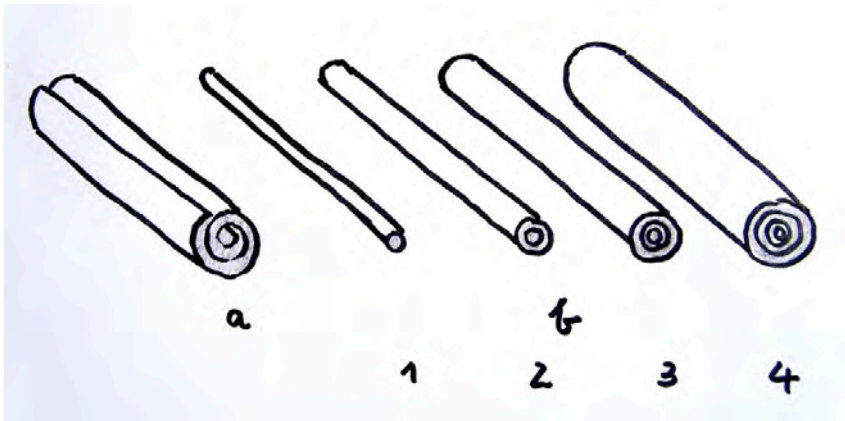
Naturbeispiel zur Schichtung:  
Jahresringe eines Baumstamms

**Experiment:** Ein Blatt Papier wird gerollt und auf zwei Auflagepunkte gelegt. Anschließend wird in der Mitte mit einem Federkraftmesser oder einer Küchenwaage die Zug- bzw. Drucklast geprüft, die das Papier zum Knicken bringt. In einem zweiten Schritt wird ein weiteres Papier in drei oder vier Streifen geschnitten; der ersten Streifen wird zu einer Röhre gerollt und längs zusammengeklebt. Anschließend werden die anderen Streifen um diese innere Röhre gerollt und jeweils längs verklebt, sodass sie vergleichbar mit den Jahresringen eines Baumes jeweils einen weiteren geschlossenen Ring ergeben. Anschließend wird der Versuch mit dem Federkraftmesser wiederholt – das Blatt Papier hält nun eine deutlich größere Krafteinwirkung aus.

**Anwendung:** Gerundete oder gebogene Verbundmaterialien finden heute eine vielfältige Anwendung. Sehr verbreitet sind Stühle aus geschichtetem Holz, das in die jeweilige Sitzform gezogen wird und dadurch sowohl Stabilität als auch eine leichte Schwingung ermöglicht. In der Architektur gilt die Kuppel des Florentinischen Domes als das bekannteste Beispiel für eine Stabilisierung durch zwei gerundete Schichten. Die innere Kuppel stützt die äußere und erlaubt so eine beträchtliche Spannweite trotz der großen Auflast durch die Baumaterialien.



Materialbeispiel zur Schichtung:  
 Schichtholz einer Stuhllehne



**Praxishinweis** Rollt ein Blatt Papier längs vollständig auf. Legt es an den Seiten auf zwei feste Punkte und prüft in der Mitte mit einem Federkraftmesser, bei welcher Belastung das gerollte Papier abknickt (vgl. Hinweise TEST).

Schneidet nun ein anderes Papier in vier gleichbreite Längsstreifen. Rollt den ersten zu einer dünnen Röhre und klebt diese längs zusammen. Rollt um den ersten nun einen zweiten Streifen und klebt ihn ebenfalls längs zusammen. Verfährt ebenso mit den restlichen beiden Streifen. Wenn der Leim getrocknet ist, prüft wieder mit dem Federkraftmesser, bei welcher Belastung diese Vierer-Röhre knickt.

Hinweis: Als Rollhilfe nutzt einen Bleistift, um den ihr die schmalen Papierstreifen aufrollt und dann verleimt.

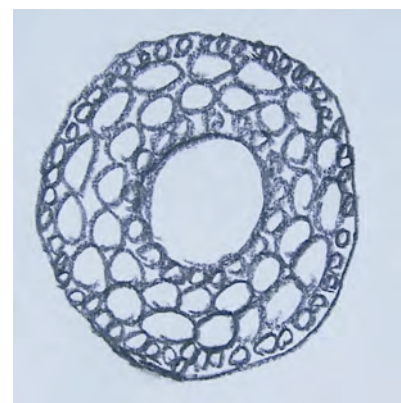


Belastungsexperiment mit  
 Federkraftmesser; links gerolltes  
 Papier; rechts nach dem Prinzip  
 Jahresringe aufgebaute Papierröhre

**Bündelung:** Betrachtet man den Querschnitt von Gras- oder Getreidehalmen (entweder auf Fotomaterial oder man stellt selbst ein Präparat für die Mikroskopie her), so zeigt sich, dass die Stängel aus sehr vielen dünnen Fasern aufgebaut sind. Jede Faser entspricht einem haarfeinen Faden. Die Bündelung dieser Fäden ermöglicht in der Gesamtheit eine hohe Stabilität (Belzer 2010, 254-259).

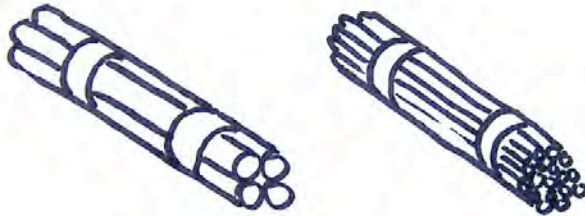
**Experiment:** Das Prinzip der Bündelung lässt sich gut prüfen, indem ein Din-A4-Papier in mehrere Längsstreifen geschnitten wird. Jeder dieser Streifen wird gerollt und entlang der Längsachse geklebt bzw. mit Tesaband befestigt. Danach werden die einzelnen Papierröhren gebündelt, an den beiden Enden jeweils mit Klebeband befestigt und mit dem Federkraftmesser einer Belastungsprobe unterzogen. Das Ergebnis kann man mit den vorherigen gut vergleichen.

**Anwendung:** Bündelungen von Fasern werden bei der Herstellung von Sei-

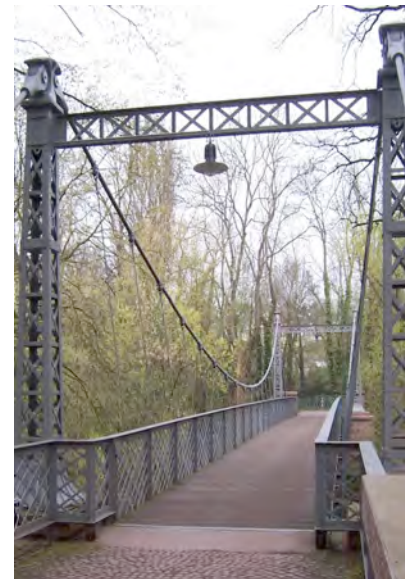


Beispiel für eine Bündelung in der  
 Natur : Querschnitt eines Grashalmes

len genutzt. Diese besitzen nicht nur eine hohe Zugfestigkeit, sondern ebenso eine sehr gute Tragfähigkeit entlang von Längsachsen, wie das Beispiel von Hängebrücken, die sehr schwere Lasten tragen und dennoch einer hohen Schwingung standhalten, verdeutlicht.



**Praxishinweis:** Schneidet ein Blatt Papier wieder in vier oder mehr Längsstreifen. Rollt jeden dieser Streifen und klebt ihn in der Längsrichtung zusammen. So erhaltet ihr vier oder mehrere kleine Röhren. Bündelt alle Röhren. Fixiert die beiden Enden diese Röhrenbündels mit Kreppband und prüft nach dem Trocknen des Leimes wieder mit dem Federkraftmesser die Belastbarkeit. Vergleicht die Ergebnisse untereinander.



Beispiel für Bündelung in der Technik: Stahlseil einer Hängebrücke

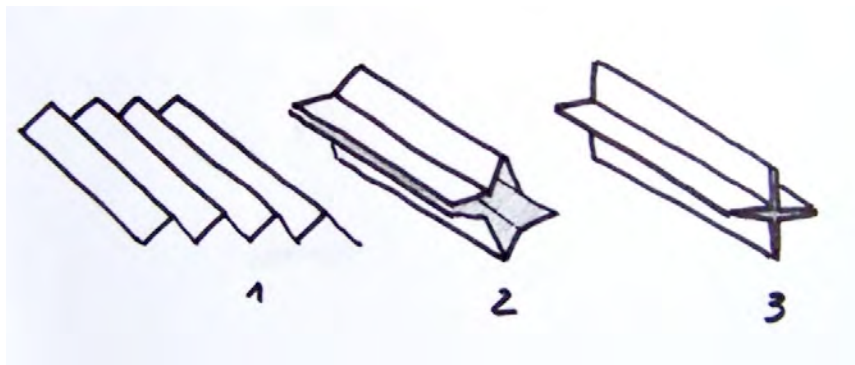
**Aussteifung:** Anders als Bäume oder Gräser nutzen einige Kakteenarten keinen runden Querschnitt, um eine Stabilität der Längsachse zu erreichen, sondern stern- oder rautenförmige Querschnitte mit besonders stark ausgebildeten Kanten. Letztere erhöhen die Steifigkeit der Gesamtform entlang der Längsachse. So sind diese Pflanzen nicht nur gegen Druckbelastung (bspw. des Windes) sondern auch gegen Torsionsbelastung gut geschützt.

**Experiment:** Ein Blatt Papier wird entlang der Längsachse achtmal gefaltet; anschließend werden die benachbarten Flächen verleimt, sodass eine Kreuzform im Querschnitt entsteht. Nach dem Trocknen wird dieser Träger mit dem Federkraftmesser hinsichtlich seiner Belastbarkeit geprüft. Die Tragfähigkeit kann verbessert werden, indem die Enden mit Kreppband umwickelt werden, um ein Einknicken des x-förmigen Querschnittes zu verhindern (vgl. Abb.).

**Anwendung:** Kreuz- oder T-förmige Querschnitte finden sich bei Stahlträgern, die innerhalb von Gebäuden eine hohe Deckenlast tragen. Kreuz- oder rautenförmige Querschnitte werden für Säulen innerhalb der Architektur genutzt.



Naturbeispiel für Aussteifung: Kaktus



**Praxishinweis:** Unterteilt ein Blatt Papier in acht gleiche Streifen; faltet das Papier so, das daraus ein Kreuz im Querschnitt entsteht. Leimt die dabei aneinanderstoßenden Flächen zusammen. Prüft nach dem Trocknen des Leimes wieder mit dem Federkraftmesser die Belastbarkeit. Vergleicht die Ergebnisse untereinander.

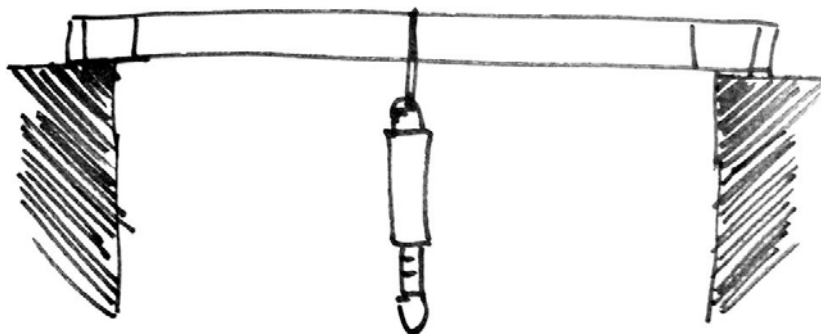


Technikbeispiel für Aussteifung: x-Profil

### Kraftwirkungen durch Modellbau prüfen – didaktische Hinweise

In Naturwissenschaft und Technik gehört der analytische Modellbau zu den elementaren Grundlagen, um beispielsweise im Bereich der Bionik-Forschung konstruktive Zusammenhänge und Kräftewirkungen von Naturphänomenen besser zu verstehen. Unterschiedliche Simulationsmodelle ermöglichen es, jeweils Einzelaspekte genauer zu untersuchen und in Messreihen zu prüfen.

Im Kunst- und im Werkunterricht wird der Modellbau häufig auch für die Veranschaulichung von Alltagszusammenhängen genutzt, um in vereinfachten Formen und kleinen Formaten Phänomene aus der Architektur, dem Design, aber ebenso aus der Geografie oder der Botanik nachzuvollziehen (Bareis 1992). *Ein rekonstruierender Modellbau* orientiert sich dabei am Prinzip der methodischen Reihe, die es Kindern im Grundschulalter einerseits erlaubt, durch das Einhalten bestimmter Arbeitsschritte gestalterische und technische Lösungen nachzuvollziehen. Andererseits wird das Augenmerk durch eine Entlastung von einem selbstgeleiteten, offenen Arbeitsprozess besonders auf das Verstehen von Wirkungszusammenhängen gelenkt.



**Praxishinweis:** Auflagepunkte der Trägermodelle aus Papier und Aufhängung des Federkraftmessers zum Prüfen der Zugbelastung