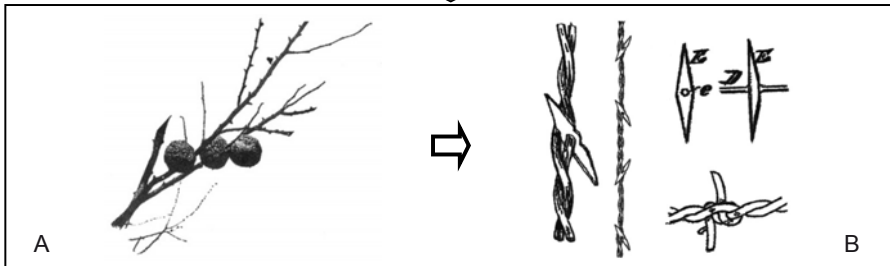


## „FRÜHGESCHICHTE“

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts gibt es zunehmend mehr Ansätze für ein „Lernen von der Natur“, die in technische Umsetzungen münden oder diese zumindest anregen. Wenig bekannt ist, dass Stacheldraht und Eisenbeton bionische Erfindungen sind. Im Ausdruck „Moniereisen“ der Maurerzunft lebt der Erfinder des Eisenbetons, J. Monier, fort. Neben naiv anmutenden Umsetzungsversuchen noch im 20. Jahrhundert gibt es immer häufiger auch solche, bei denen solide Physik an der Basis steht, zum Beispiel Schwingflossenantriebe. Die Reihe der Ansätze zieht sich bis zu den Zeppeleinen der 1920er Jahre hin und in die Kriegszeit hinein.

## Stacheldraht ist eine bionische Erfindung



**Manchmal steckt ein bionischer Hintergrund in einer Erfindung, an die sich längst niemand mehr erinnert: Stacheldraht.**

### BIOLOGIE:

Den Farmern Nordamerikas war seit Beginn der Viehhaltung bekannt, dass Weidetiere durch nichts dazu zu bewegen sind, dornige Hecken der Osage-Orange (*Maclura pomifera*), zu durchdringen. Deshalb wurden diese Hecken (A) als Weidelandtrenner und Pferchumzäunungen angepflanzt. Die zunehmende Größe der abzugrenzenden Weidegebiete verlangte aber nach technischen Lösungen, zumal die *Maclura*-Hecken nur sehr langsam wachen.

### PRINZIP:

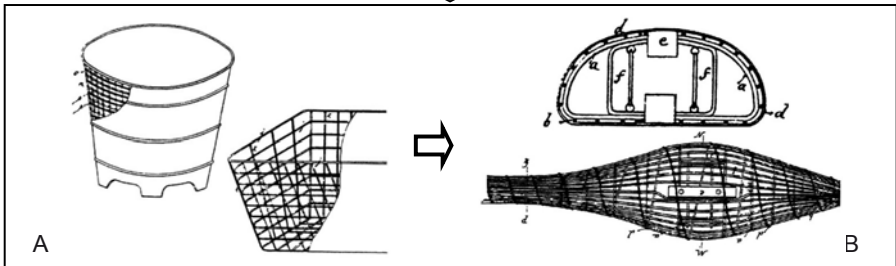
Mit dem ersten Patent auf einen „stacheligen Draht“ (Kelly, 1868) wurden die scharfen Schneiden an den Dornen nahe der Basis eines Osage-Astes nachgeahmt, und zwar durch doppelt zugespitzte, dornartige Metallplättchen zwischen zwei verwundenen Drahtsträngen (B). Das Naturvorbild ist in der Patentschrift belegt: „My invention relates to *imparting to fences of wires a character approximating that of the thorn hedge*“.

### WEITERENTWICKLUNG:

Da der Kelly-Draht wegen der komplizierten Handarbeit teuer war, wurde er von maschinell zu fertigenden Produkten ersetzt. Heute wird er nur noch im militärischen Bereich verwendet, wo Geld keine Rolle spielt. Praktikabler war der Glidden-Draht, der 1874 zum Patent angemeldet wurde. Die von Hand einzubindenden, scharfen Metallplättchen wurden durch maschinell eingedrehte Doppeldornen ersetzt (B). Heute gibt es etwa 200 Stacheldrahtpatente.

LITERATUR: Kelly, M. (1868): Improvement in fences. US Patent No. 74379. – Glidden, J. F. (1874): Improvement in wire fences. US Patent No. 157124.

## Stahlbeton ist eine bionische Erfindung



**Von einer bionischen Erfindung kann man immer dann sprechen, wenn Naturvorbilder die entscheidende Anregung gaben.**

### PROBLEM UND BIOLOGISCHES VORBILD:

Der Pariser „horticulteur et paysagiste“ Joseph Monier hatte sich darüber geärgert, wie teuer und bruchgefährdet steinerne oder tönernen Pflanzentöpfe sind. Andererseits hatte er beobachtet, dass die aus einem Opuntienblatt herausgewitterte, vernetzte Sklerenchymstruktur der Blattmasse Festigkeit gibt. Daraus entstand die ab 1867 patentierte Idee, Pflanzentöpfe in Mehrkomponentenbauweise herzustellen, und zwar auf preiswerte Weise.

### PRINZIP:

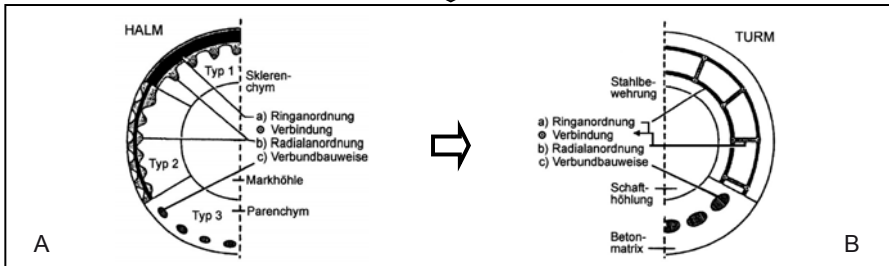
In der Pflanzenwelt ist die *Parenchym*masse aus eng nebeneinander stehenden, turgorstabilisierten Zellen relativ druckfest, aber zugempfindlich. Andererseits ist die vernetzte Struktur des *Sklerenchyms*, mit seinen vielfach verzweigten, lang gestreckte Bündel bildenden Zellen, zwar gegen seitliche Drücke nicht sehr stabil, dafür aber ausgesprochen zugfest. Die Kombination der Materialien vereint so in idealer Weise Druckfestigkeit mit Zugfestigkeit.

### TECHNIK:

Die druckfeste Parenchymmasse hält das zugfeste Sklerenchymnetz auf Abstand. Dem letzteren ist im technischen Bereich ein Drahtskelett analog, für einen Pflanzkübel ein Drahtkorb (A), für eine Eisenbahnschwelle eine entsprechend geformte Drahtwicklung (B), dem ersteren die Matrix des eingegossenen, erhärtenden Zements. Somit kombinieren auch Schwelle oder Kübel aus Zement mit Drahtmatrixinlage Druck- mit Zugfestigkeit: Stahlbeton.

LITERATUR: Monier, J. (1867): Nouveau système de caisses et bassins mobiles et portatifs au fer et ciment applicable à l'horticulture. Prevet Français Nr. 77165. – Monier, J. (1880): Verbindung von Metallgerippen mit Cement. Kaiserliches Patentamt Nr. 14673, Kl. 80.

## Wichtigkeit von Analogiebetrachtungen: Beton



**Die Wichtigkeit der Analogieforschung wurde erstmals von W. Rasdorsky am Beispiel des Eisenbetons herausgestellt.**

**TECHNISCHE BESCHREIBUNG UND BIOLOGISCHES VERSTÄNDNIS:**  
W. Rasdorsky, der die Doppel-T-Träger-Vorstellung von S. Schwendener kritisch betrachtete, gelangte „durch die in den Jahren 1906 bis 1907 gehörten Vorträge über den Eisenbetonbau“ zur Vorstellung, dass die Pflanze als Verbundbau aufzufassen sei, „in dem die Sklerenchymstränge der Eisenarmierung, das Parenchymgewebe der Betonmatrix (gemeint war wohl: der Zementmatrix) entsprechen“: der richtige Weg zum funktionellen Verständnis.

### PRINZIP DER ANALOGIEFORSCHUNG:

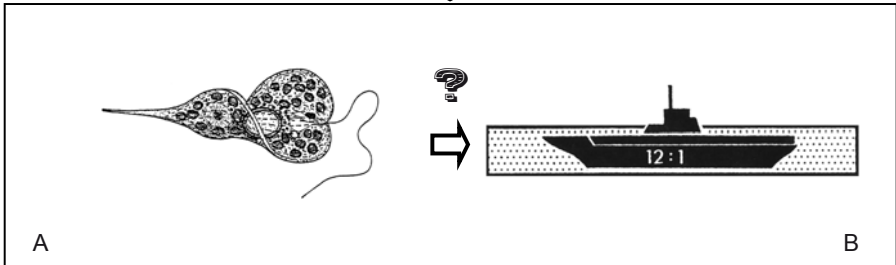
Mit dem oben genannten Zitat aus dem Jahr 1911 war bereits sehr früh die heute so wichtige heuristische Rolle der *Analogieforschung* aufgezeigt worden: „Zwischen den technischen Verbundbauten und den Pflanzenorganen besteht demnach im ganzen Konstruktionsprinzip eine *weitgehende Analogie*.“ Giesenhausen vermerkt 1912, dass Blätter „mit ihren Festigungsgeweben einen Gitterrost bilden wie Eiseneinlagen in einer Eisenbetondecke“ (A, B).

### BEDEUTUNG DER ANALOGIEFORSCHUNG:

Die frühe Analogisierung führte nicht nur zum richtigen Verständnis des morphologischen Aufbaus, sondern befruchtete auch Sichtweisen der folgenden Forschergeneration. Bachmann verglich 1922 die Zugfaseranordnung beim Bambus mit „einer Bewehrung der bei Biegung am stärksten beanspruchten Außenschicht (ähnlich wie beim Eisenbeton). Bower (1923): „Ordinary herbeaceous plants are constructed on the same principle.“

**LITERATUR:** Rasdorsky, W. (1911): Bull. de la Société des Naturalistes de Moscou, Sect. Biol. 4, 351–405. – Rasdorsky, W. (1928): Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. 46, 48–104. – Giesenhausen, K. (1912): Handwörterbuch d. Naturwiss. 2, 1–35. – Bachmann, F. (1922): Jb. Wiss. Bot. 61, 372.

## Naive Umsetzungsvorschläge führen ins Leere



**Auf Umsetzungsvorschläge, welche die physikalisch-technischen Grundlagen nicht einbeziehen, muss man verzichten.**

BIOTECHNISCHER VERGLEICH FÜHRT SCHON ZU IDEEN, ABER ...:

R. H. Francé, einer der frühen Verfechter eines „Lernens von der Natur für die Technik“, hat beispielsweise in seinem 1919 erschienenen Werk „Die technischen Leistungen der Pflanzen“ bereits versucht, Fachgrenzen zu überwinden. So hat er auch vorgeschlagen, ein „rotierendes U-Boot“ nach dem Vorbild der „Wasserschraubenform“ einer einzelligen Grünalge zu bauen. Vertreter der Gattung *Phacus* und andere bewegen sich tatsächlich schraubig.

... BIOLOGIE UND TECHNIK SIND NICHT IMMER VERGLEICHBAR:

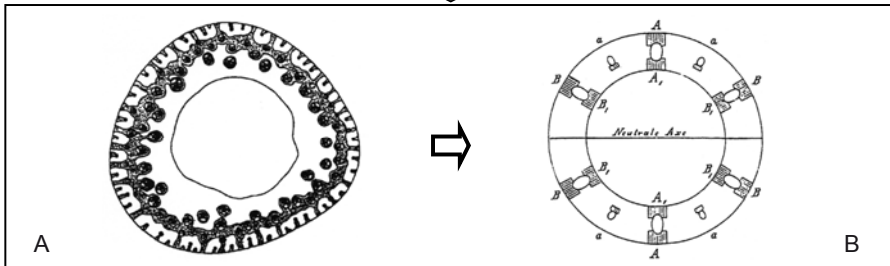
Ein Vergleich ist in diesem Fall sinnlos, da die physikalischen Voraussetzungen für die Bewegung einer 1/10 mm langen Grünalge (A) und eines 30 m langen Unterseebootes völlig (B) unterschiedlich sind. Nicht nur die Längen unterscheiden sich um den Faktor  $3 \cdot 10^5$ , auch die Geschwindigkeiten unterscheiden sich in ähnlicher Weise. Damit sind auch die Re-Zahlen, welche die Umströmungscharakteristik kennzeichnen, etwa im Verhältnis  $1:10^6$  unterschiedlich.

TECHNIK:

Ein U-Boot könnte sich mitsamt seiner Mannschaft nicht schraubig-rotierend durchs Wasser drehen. Den Bewegungsmechanismus der kleinen Grünalge kann man auch nicht auf die Großausführung übertragen. So sind beispielsweise die Anteile von Druck- und Reibungswiderstand völlig unterschiedlich. Ein U-Boot könnte so nicht schwimmen. Umgekehrt gilt das Gleiche: Kleinalgen mit U-Boot-Form und -Antrieb würden im Wasser nicht vorankommen.

LITERATUR: Francé, R. H. (1919): Die technischen Leistungen der Pflanzen. Veit & Co., Leipzig.

## Technisch-physikalische Grundlagen als Basis



### Neue oder wiederentdeckte technisch-physikalische Erkenntnisse wurden schon früh als Erklärungsprinzipien benutzt.

#### BIOLOGIE:

Querschnitte durch Pflanzenstängel oder -halme, etwa beim Schneidried (*Cladium mariscus*; A), sind in der Regel durch ringförmig verschmolzene sklerenchymatische Tragestrukturen gekennzeichnet. Diese formieren oft zentrifugale und zentripetale Ausbeulungen. Solche Strukturen weisen nicht selten Querschnittsformen auf, die technischen Doppel-T-Trägern ähneln. Sie wurden deshalb auch als „biologische Doppel-T-Träger“ beschrieben.

#### PRINZIP:

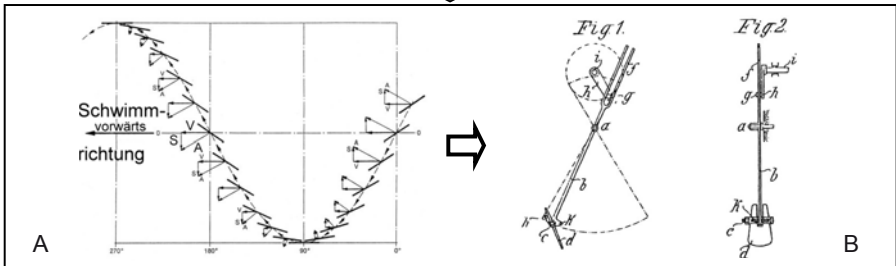
Von technischen Doppel-T-Trägern weiß man seit ihrer Einführung in den Beton- und Schienenbau des 19. Jahrhunderts, dass sie mit ihrem typischen Querschnitt ein besonders hohes Flächenträgheitsmoment aufweisen und dadurch relativ biege- und verwindungssteif sind, erst recht, wenn sie zu radiären Komplexen zusammengeschlossen sind (B): Technische Biologie kann im Analogschluss das So-Sein biologischer Strukturen verständlich machen.

#### ERKLÄRUNG DURCH EIN ANDERES FACHGEBIET:

S. Schwendener (Botaniker und Biomechaniker, Ende des 19. Jahrhunderts) wurde „durch die Betrachtung eiserner Brücken und Bahnhofshallen mit ihren zahlreichen Doppel-T-Trägern“ dazu angeregt, biegesteife Pflanzenhalme als Systeme solcher Träger aufzufassen. Im Jahr 1888 schrieb er in einer Abhandlung: „Die Pflanze konstruiert zweifellos nach denselben Regeln wie die Ingenieure, nur dass ihre Technik eine sehr viel feinere und vollendetere ist.“

LITERATUR: Schwendener, S. (1874): Das mechanische Prinzip im anatomischen Bau der Monocotylen ... Engelmann, Leipzig. – Schwendener, S. (1888): Über Richtungen und Ziele der mikroskopisch botanischen Forschung. Naturwiss. Wochenschrift, Berlin.

## „Fischpropeller“ nach Art des Schwanzflossenschlags



**In älteren Patentschriften ist der Hinweis auf das „Vorbild Natur“ noch regelmäßig angegeben, in neueren nicht mehr.**

### BIOLOGIE:

Die Effizienz des Schwanzflossenantriebs bei Fischen wurde seit alters als vorbildhaft angesehen. In der Patentschrift von Zdenko Ritter von Limbeck steht: „Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Flossenpropeller für Schiffe, welcher an Stelle eines Schraubenpropellers am Hinterschiff angebracht ist und *nach Art der Schwanzflosse der Fische* durch Ausschläge nach Steuerbord und Backbord eine vorwärts treibende Bewegung ausübt.“

### PRINZIP:

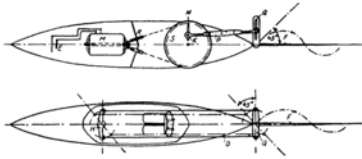
Die Schuberzeugung bei einer hin und her schwingenden Flosse geschieht, indem sie mit einem positiven Anstellwinkel gegenüber dem beaufschlagten Wasser eingestellt wird (A). Dadurch entsteht neben einer Widerstandskomponente in Schlagrichtung eine Auftriebskomponente A senkrecht dazu, die sich ihrerseits in eine Schubkomponente V nach vorn und eine Seitentriebskomponente S senkrecht dazu zerlegt.

### TECHNIK:

Der Antrieb besteht aus einem Exzenter-Gabel-System (B), das eine Schubstange b hin und her schwingen lässt. Am Ende ist eine Flosse eingelenkt, die exzentrisch gebaut ist, sodass die breitere Fläche d stets durch den Wasserdruck verstellt wird. Sie schlägt gegen den Anschlag h und den gegenüberstehenden Anschlag und stellt sich dadurch von selbst so ein, dass sie stets Schub erzeugt; an den Umkehrpunkten wechselt die angeströmte Seite.

LITERATUR: Ritter von Limbeck, Z. (1903): Fischpropeller für Schiffe. Kaiserliches Patentamt Nr. 153810, Kl. 65f.

## „Wellenpropeller“ mit elastischer Flosse



A



B

**Es gibt wenige Beispiele im Bereich früher bionischer Umsetzung für den Schritt von Idee/Modell zur Großausführung.**

### BIOLOGIE UND TECHNIK:

Nach dem Studium der Vortriebsmechanismen von Fischen wagte der Ingenieur H. Schramm, der seinem Buch *Die Schwingung als Vortriebsfaktor in Natur und Technik* den apodiktischen Untertitel „Gedanken eines Ingenieurs über das Problem der schwingenden Propulsion in Technik und Biologie“ gegeben hatte, die Umsetzung von Modellen in Großausführungen. Es wurden Boote mit schwingenden Heckflossen gebaut und getestet.

### PRINZIP:

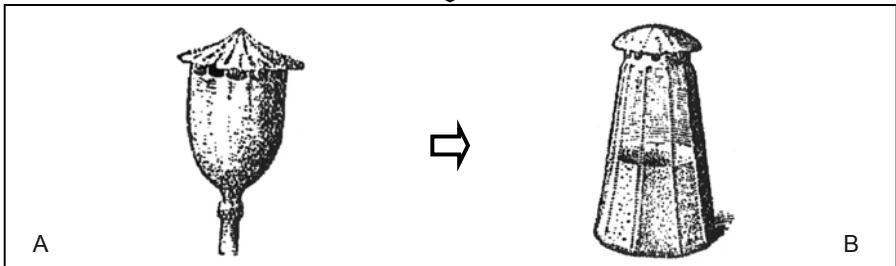
Heckflossen (A) wurden in Horizontalschwingungen versetzt. Dabei wurde erkannt, „... dass die Elastizität der Flosse nicht durchgehend die gleiche sein durfte, sondern dass an der Angriffsstelle der Flossendruckkraft, also an dem gelenkig mit dem Bootsheck verbundenen Vorderteil der Flosse, diese möglichst kräftig und wenig elastisch und nach dem hinteren Ende zu immer weicher und biegsamer ausgebildet sein musste.“ – Analogie zum Fisch.

### TECHNIK:

Fünf derartige Flossen wurden getestet. Die besten zeigten Wirkungsgrade, die höher waren als die von Schiffspropellern. Bei bestimmten Randbedingungen erreichte ein Schraubenpropeller einen Wirkungsgrad von 0,52, der Schwingungspropeller dagegen 0,78. Der Ansatz wurde auf ein Zweier-Paddelboot erweitert (B). Mit der besten Flosse, die fischflossenartig in eine haarscharfe Schneide auslief, wurde ein besonders hoher Standschub erreicht.

LITERATUR: Schramm, H. (1927): *Die Schwingung als Vortriebsfaktor in Natur und Technik. Gedanken eines Ingenieurs über das Problem der schwingenden Propulsion in Technik und Biologie.* De Gruyter, Leipzig.

## Test für das Patentamt: Francés Salzstreuer



**Wird das Patentamt eine „Erfindung, welche die Natur schon gemacht hat“, als patentfähig erachten? Der Test war positiv.**

### PROBLEMSTELLUNG:

Raoul H. Francé, der Entdecker der Kleinlebewelt im Boden („Edaphon“), versuchte, Mikroorganismen nach gleichmäßiger Impfung einer Bodenfläche – „ganz gleichmäßig, jeden Quadratmillimeter mit einem Dutzend der kleinsten Lebenskeime bestreuen“ – zu vermehren. Alle in den 1920er Jahren üblichen Streueinrichtungen wie konventionelle Salzstreuer, Puderstreuer für Kinder, Zerstäuber oder Siebe, streuten aber durchaus ungleichmäßig aus.

### PRINZIP:

„Ich fand die Problemlösung in den Kapseln des Mohns (A). Jedermann kennt sie, jedermann weiß, dass die unter dem Deckel in Kreisen angeordneten Löcher dazu dienen, die kleinen Mohnkörner auszustreuen, aber noch nie hat jemand daran gedacht, dass hier eine Erfindung der Pflanze gegeben sei, welche die unsrigen übertrifft. Eine Mohnkapsel, gefüllt mit den Körnern der Erde, streute sehr viel gleichmäßiger aus, als es mir bis dahin gelungen war.“

### PATENT:

„Mit einem kühnen Entschluss wollte ich Gewissheit haben. Ich zeichnete einen Streuer für Salz, für Puder oder sonstige medizinische Zwecke nach dem Modell der Mohnkapseln (B) und meldete das als Erfindung zum Musterrecht an. Man hat mir den Schutz nicht bestritten; eine Erfindung war gemacht. Nach kurzem erhielt ich das vom Patentamt bestätigt ...“ Francé hielt sich, sympathisch bescheiden, nur für einen „elenden Kopisten der Natur“.

LITERATUR: Francé, R. H. (1919): Die technischen Leistungen der Pflanzen. Veit & Co., Leipzig. – Francé, R. H. (ca. 1929): Deutsches Patentamt Nr. 723730.

Bionik in Beispielen

250 illustrierte Ansätze

Nachtigall, W.; Wissner, A.

2013, XVII, 326 S. 500 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-34766-5