

Baugesetze in Natur und Technik.

Von

Dr. Alfons Leon,

Konstrukteur an der k. k. Technischen Hochschule in Wien.

Vortrag, gehalten den 3. März 1909.

(Mit 50 Lichtbildern.)

Mit 20 Abbildungen im Texte.

Es war im Jahre 1866. Da hielt in der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich Professor Hermann von Meyer einen Vortrag, in dem er auf die oft regelmäßige Struktur der Knochen hinwies. Professor Meyer hatte nämlich wiederholt Knochen durchsägt und dabei bemerkt, daß die Knochenbälkchen im Innern der Knochen, welche der Knochenmasse ein schwammiges Aussehen geben, nach gewissen, mehr oder minder deutlich ausgeprägten Liniensystemen angeordnet sind; am schönsten und schärfsten zeigte sich dies am oberen Ende, dem sogenannten Hals des Oberschenkelknochens und am Fersenbein. (Fig. 1 u. 2.)

Unter den Gästen der Gesellschaft befand sich auch ein Professor des Eidgenössischen Polytechnikums, Ingenieur Karl Culmann, ein Gelehrter, der für die Entwicklung des Ingenieurwesens ganz Bedeutendes geleistet hat, insbesondere dadurch, daß er die Geometrie zur Lösung von bautechnischen Aufgaben durch Zeichnung und Konstruktion heranzog, was oft viel schneller und müheloser zum Ziele führte als der Weg der Rechnung. Der Ingenieur folgte mit gespanntem Interesse den Ausführungen des Anatomen, denn die von Meyer entdeckten Liniensysteme hatte Culmann bei der zeichnerischen Be-

handlung einer Aufgabe der technischen Mechanik erhalten. Um dies nun näher zu erklären, muß ich weiter ausholen.

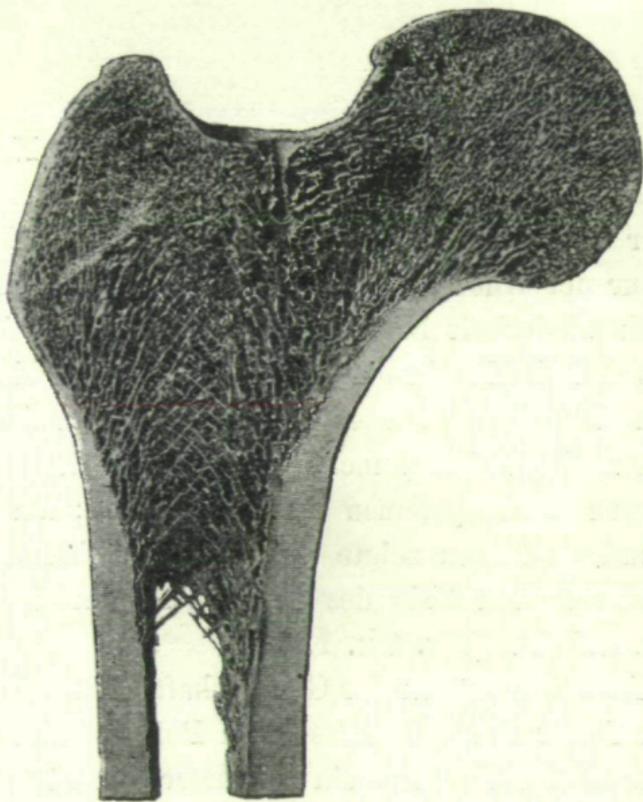


Fig. 1. Oberes Ende des Oberschenkelknochens. Längsschnitt.
(Aus Toldts Anatomischem Atlas.)

Denkt man sich ein elastisches Band, auf dessen Oberfläche eine Reihe von kleinen Kreisen gezeichnet sei (Fig. 3). Das Band werde gezogen. Was geschieht? Das Band wird länger, aber auch schmaler; die Kreise werden verzerrt, und zwar in der Zugrichtung verlängert, in der

Quere verkürzt, so daß sie in Ellipsen übergehen. Zeichnet man in jeder so erhaltenen Ellipse die große und die

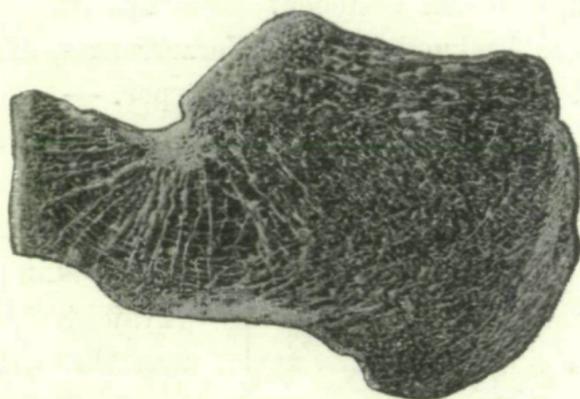


Fig. 2. Schnitt durch das Fersenbein.
(Aus Toldts Anatomischem Atlas.)

kleine Achse, so erhält man zwei Systeme, welche sich rechtwinkelig schneiden (Fig. 3). Diese Linien-systeme nennt man Spannungstrajektorien. Die Form der Linien ist aber nicht immer so einfach wie bei diesem Beispiele. Wird ein Balken auf zwei Kanten gelagert und durch eine Last in der Mitte verbogen, so werden an der Oberkante die Fasern verkürzt, an der Unterkante verlängert und die Kreise entsprechend verquetscht (Fig. 4). Die Kreise in der Mittelschichte verzerren sich in schiefer Richtung. Zeichnet man

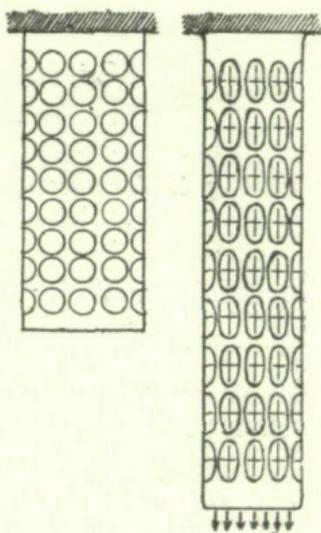


Fig. 3. Verformungszustand bei einfacher Zugspannung.

in alle so entstehenden Ellipsen die Achsen ein, so erhält man wieder die Spannungstrajektorien, die aber nicht mehr aus Geraden bestehen. Die Trajektorien geben also sichere Auskunft über den Verzerrungs-, mithin auch über den Spannungszustand im Körper. — —

Die Form eines Drehkrans ist wohl jedermann bekannt. Es ist die eines gekrümmten Trägers; belastet, werden seine äußeren Fasern gezogen, die innern ge-

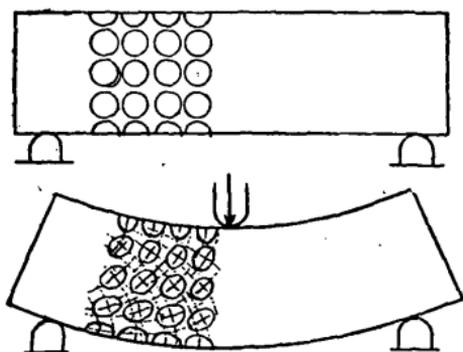


Fig. 4. Verzerrungszustand bei Biegung.

drückt. Man erhält ein Trajektoriensystem ungefähr so wie beim geraden Balken. Diese Linien nun waren es, deren Ähnlichkeit mit den Strukturlinien an Knochen Prof. Culmann in die Augen sprang, umsomehr als auch der Oberschenkelknochen des Menschen

in ähnlicher Weise belastet ist wie ein Kran. Culmann teilte diese Gedanken Hermann v. Meyer mit und in der Folge wurde diesen Verhältnissen durch eingehende Forschung nähergetreten.¹⁾

Es war durch diese Beobachtungen sichergestellt, daß die Knochenbälkchen nach den Druck- und Zug-

¹⁾ Eine große Reihe eingehender Studien über die makro- und mikroskopische Untersuchung der Knochen- und anderer Gewebe hat Prof. W. Gebhardt durchgeführt.

linien geordnet sind, also nach Liniensystemen, welche man auf Grund geometrischer Regeln zeichnen kann, sobald man die Belastungsverhältnisse kennt. Einige Jahre nach der Veröffentlichung dieser Tatsachen fand Julius

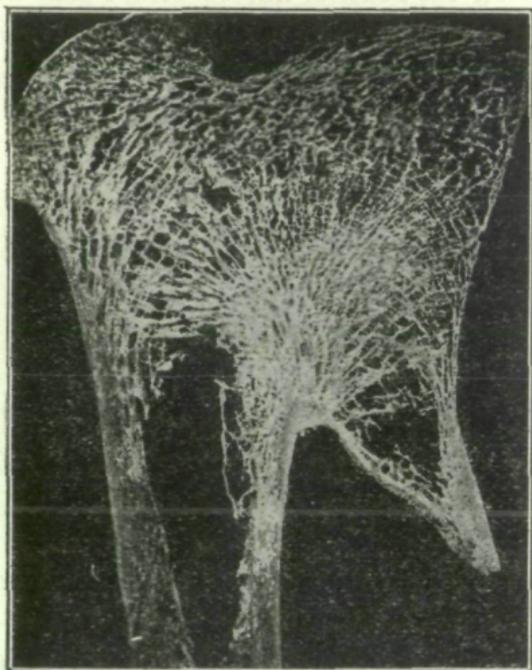


Fig. 5. Struktur eines verknöcherten Hüftgelenks.

Wolff, daß, wenn die Knochen neuen, für sie ungewohnten Belastungen ausgesetzt werden, sie ihre Struktur ebenso ändern wie die elastischen Körper die Spannungstrajektorien; daß also die Lage der Knochenbälkchen nichts Festes ist, daß sie vielmehr wandert, wenn die Lasten wandern, daß also ein ursächlicher Zusammenhang besteht zwischen der Struktur der Knochen und ihrer Belastung. (Fig. 5.)

So fand man, daß schief angeheilte Knochen nicht mehr ihre ursprüngliche, sondern eine neue Struktur erhalten, wenn sich die Spannungsverteilung durch die neue Lage der Knochen verändert hatte. Setzt sich an einen Knochen ein Muskel an, so bildet sich an der Ansatzstelle eine der Kraftausbreitung im Knochen entsprechende Struktur aus. Einige Experimente haben diese Befunde bestätigt. Man hat z. B. die von der Haut

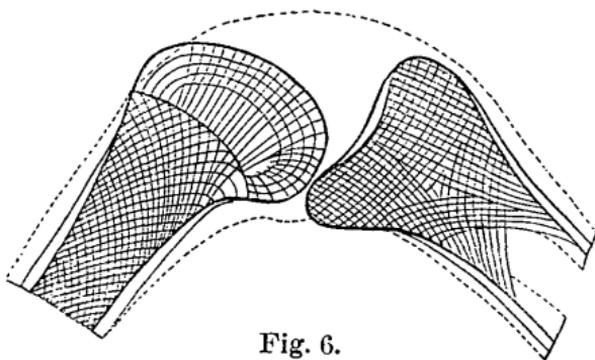


Fig. 6.

Schnitt durch das Kniegelenk in der Beugstellung
(nach Roux).

befreite Schwanzspitze eines Kaninchens in einer Hauttasche des Rückens nahe der Schwanzwurzel zum Einheilen gebracht. Der Schwanz nahm dadurch die Form eines Kreisringes an und war lange Zeit in Spannung. Das Tier gewöhnte sich an diese ungewöhnliche Art, den Schwanz zu tragen, und nach seinem Tode fand man, daß die Struktur der Schwanzwirbel sich im Sinne der neuen Beanspruchung geändert hatte.

Eines der besten Beispiele für die Anpassung der Knochen geben die Ankylosen. — Gebraucht der Mensch

seine Gelenke (Ellenbogen, Hüftgelenk; Kniegelenk) nicht, so versteifen sie nach und nach, sie verknorpeln, verknöchern. (Fig. 6.) Deshalb nimmt man bei Frakturen die Gipsverbände, wenn sie ein Gelenk zur absoluten Ruhe zwingen, möglichst bald ab. Bei manchen entzündlich-tuberkulösen Prozessen aber erstrebt man die Versteifung, um die Gelenke für immer ruhig zu stellen und so die Ausbreitung der Entzündung zu hemmen (sowie

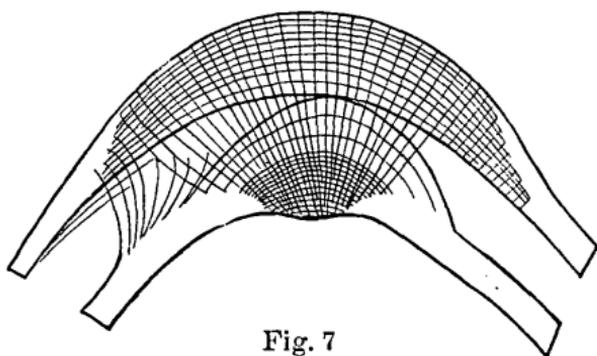


Fig. 7

Kniegelenk, in der Beugstellung verknöchert (nach Roux).
Den neuen statischen Verhältnissen angepaßte Struktur.

man bei der Kehlkopftuberkulose dem Patienten das Sprechen einschränkt, damit der Kehlkopf möglichst in Ruhe sei). So kann es vorkommen, daß bei einer Kniegelenkentzündung das Kniegelenk verknöchert, indem das obere Ende des Unterschenkels mit der Kniescheibe und dem unteren Ende des Oberschenkels verwächst; man nennt dies eine Kniegelenksankylose (Fig. 7).¹⁾ Sind die

¹⁾ Es gibt natürliche und künstliche Ankylosen. Die künstlichen werden auf operativem Wege dadurch hergestellt, daß die Gelenkflächen „angefrischt“ und aufeinander-

Knochen nun in der Beugstellung verwachsen, so bilden sie, im Lichte der Elastizitätslehre besehen, einen auf Biegung beanspruchten krummen Stab. Der berühmte Anatom Wilhelm Roux hat nun eine derartige Verwachsung der Struktur nach untersucht, gleichzeitig aber an Gummimodellen die Systeme der Spannungslinien her-

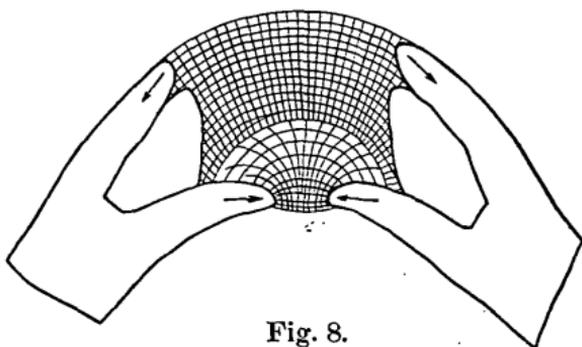


Fig. 8.

Spannungstrajektorien eines auf Biegung beanspruchten Gummiojektes (nach Roux).

gestellt (Fig. 8). Der Vergleich lehrte, daß in der Tat sich die Struktur der Knochen nach und nach so umgebildet hatte, wie es die Gesetze der Mechanik verlangen. Heute, wo die Röntgenphotographie schon so weit fortgeschritten ist, kann man das Wandern der Knochenarchitektur direkt am menschlichen Körper verfolgen.¹⁾

geheilt werden; d. h. man schneidet von den Gelenken einen Teil der Knochenmasse so ab, das die Bruchflächen aufeinander passen. Nach der Heilung sind die Knochen unverschieblich miteinander verbunden.

¹⁾ Freilich sind solche Strukturbildungen an versteiften Gelenken relativ selten, weil in der Regel die

Wie läßt sich aber diese unzweifelhafte Wechsel-
beziehung zwischen der Struktur der Knochen und ihrer

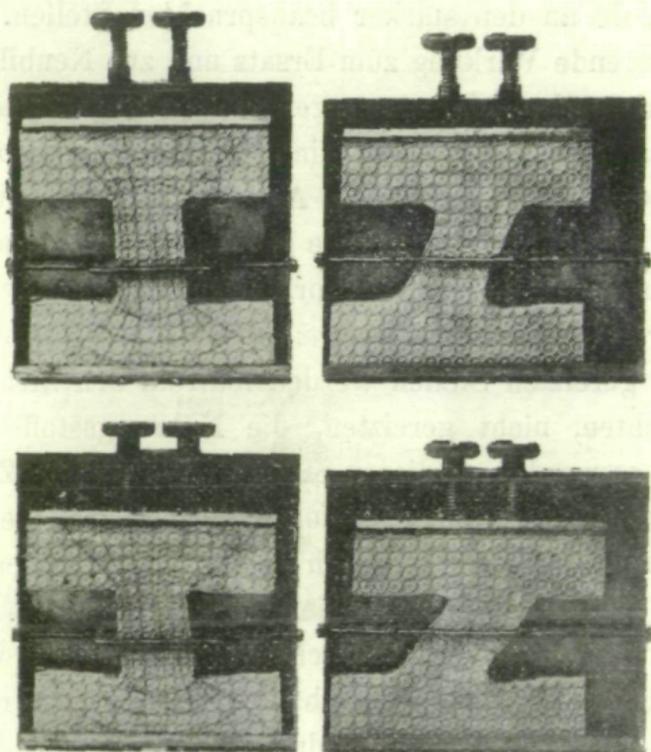


Fig. 9. Trajektorienmodelle von W. Roux.
Oben im entlasteten, unten im belasteten Zustande.

Belastung einem mehr mechanischen Verständnis näher-
rücken? Prof. Roux¹⁾ erklärt diese Erscheinung auf fol-
gende Art: Durch die Beanspruchung — durch Zug

Gliedmassen mit verknöcherten Gelenken nicht mehr be-
nützt, also nicht mehr beansprucht werden.

¹⁾ W. Roux, Gesammelte Abhandlungen über Ent-
wicklungsmechanik. Leipzig 1895, W. Engelmann.

oder durch Druck — werden die davon betroffenen Gewebe gereizt; der Reiz bewirkt einen Blutandrang, eine Hyperämie an den stärker beanspruchten Stellen. Die assimilierende Wirkung zum Ersatz und zur Neubildung der verbrauchten Substanz geht im gereizten Zustand über das notwendige Maß hinaus, die Zellen arbeiten also mit Überkompensation. An den gereizten Stellen wird also das Knochengewebe besser ernährt, also verstärkt und vergrößert: man spricht von einer Aktivitätshypertrophie; und umgekehrt: durch den Blutzudrang an den gereizten Stellen werden indirekt den nicht beanspruchten, nicht gereizten, die Nahrungsstoffe entzogen; es werden an diesen Stellen weniger neue Zellen gebildet, als veraltete abgestoßen werden; das Gewebe wird durch den Nichtgebrauch geschwächt, verkleinert, es tritt die Inaktivitätsatrophie ein.

Roux hat in sehr hübscher Weise erklärt, wieso es kommt, daß die Knochenbälkchen sich nach rechtwinkligen Liniensystemen ordnen. Ist nämlich das Bälkchen schief, so wird stets an den spitzen Winkeln der größere Druck, daher auch der größere Reiz vorhanden sein und sich hier Zellen ansetzen, während an den stumpfen Winkeln das Umgekehrte eintritt (Fig. 9). Diese beiden Umstände wirken gegenseitig unterstützend und das Knochenbälkchen stellt sich nach und nach in die Richtung der Kraft (Fig. 10).¹⁾

¹⁾ Die Modelle waren auf der Weltausstellung in St. Louis zu sehen.

Was aber für eine einzelne Stelle des Gewebes gilt, das gilt für den ganzen Knochen und überhaupt für jedes Organ. Je mehr ein Mensch oder ein Tier seine Organe benützt, desto größer und stärker werden sie. Einige Beispiele: Man kann noch aus dem Skelett eines Men-

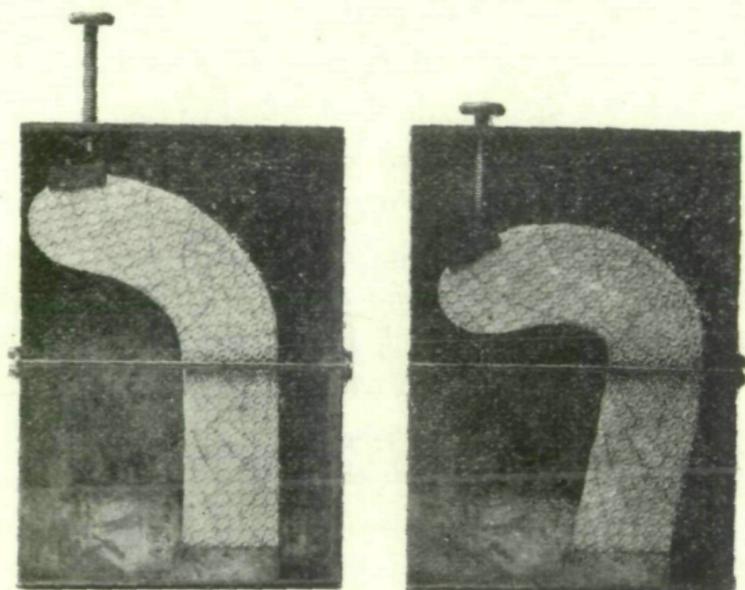


Fig. 10. Trajektorienmodell von W. Roux.
Links unbelastet, rechts belastet.

schen ersehen, ob er die Gewohnheit hatte, rechts oder links zu liegen. — An Skeletten von Polynesiern konnte man deutlich die Wirkung ihrer hockenden Stellung beobachten. — Herodot berichtet, daß er auf dem Schlachtfelde von Pelusium die Schädel der Perser zu Staub zerfallen, die der Ägypter wohl erhalten gefunden habe, und wir erinnern uns, daß die Perser stets Helme trugen, also den Kopf schonten, während die Ägypter meist bar-

haupt waren. — Man hat eine Dogge, der von Geburt an die Vorderbeine fehlten, untersucht und gefunden, daß an ihren Hinterbeinen der Oberschenkelknochen kürzer war als das Schienbein, was bei normalen Hunden sonst umgekehrt der Fall ist. Die Känguruhratte aber hat nun ebenfalls einen Oberschenkelknochen, der kürzer ist als das Schienbein. Der vorderbeinlose Hund hüpfte und hockte wie das Känguruh und so änderten sich auch die Längenverhältnisse der Hinterfußknochen in känguruhartigem Sinne ab. — Wenn man Gänse mit Gerstenkörnern füttert, so haben sie große dunkelrote Muskel- und Reibmägen, da die Nahrung eine energische Verarbeitung fordert, während die kunstgerecht genudelten Stopfgänse, obwohl sie noch einmal so schwer sind und obschon die Nudelfütterung nur drei bis vier Wochen dauert, nach dem Schlachten kleine, blasse Mägen zeigen.

Was folgt aber aus diesem Verhalten der lebenden Substanz den äußern Kräften oder allgemeiner der Funktion, den Reizen gegenüber? Denken wir uns zunächst einen längeren massiven Knochen, der gedrückt und so der Gefahr ausgesetzt wäre, nach irgendeiner Richtung auszuknicken. Die größte Beanspruchung findet stets an der Oberfläche statt und hier tritt dann die funktionelle Verstärkung auf. Im Innern des Knochens sind die elastischen Kräfte klein, die Knochensubstanz wird teilweise resorbiert; so entsteht der Röhrenknochen und mithin eine technisch hochwertige Konstruktion, denn bei gleichem Materialverbrauch ist der hohle Knochen viel fester als der massive. Das besprochene Eintreten

der Aktivitätsatrophie bei Gebrauch und der Inaktivitätsatrophie bei Nichtgebrauch eines Organs beinhaltet also die automatische Schaffung zweckmäßiger, also technischer Formen.

Dies ist das von Professor Wilhelm Roux (Fig. 11) aufgestellte Prinzip der funktionellen Selbstgestaltung des Zweckmäßigen. Und es ist klar, daß die Kenntnis dieses

Wachstumsgesetzes von größter praktischer Wichtigkeit wurde; als Heilfaktor ist es besonders von den Orthopäden benützt worden; manche Rückgrat-



Fig. 11. W. Roux.

verkrümmung, manch andere Nachwirkung der englischen Krankheit ist durch eine Abänderung der statischen Verhältnisse gebessert und auch geheilt worden.¹⁾ — — —

¹⁾ Freilich, die Behandlung nach diesem Gesetz der funktionellen Selbstgestaltung ist nicht so leicht; vor allem gilt es nicht ohneweiters für die Periode des embryonalen Wachstums: Hier sind es die Vererbungsfaktoren, welche die größte Rolle spielen; dann dürfen auch die Beanspruchungen der Organe nicht zu groß werden. Überschreiten sie eine gewisse Grenze, so wirken sie schäd-

Ganz getrennt und unabhängig von diesen anatomischen Untersuchungen, deren Verfasser beinahe durchwegs Ärzte waren, erschienen im Laufe der letzten Jahr-



Fig. 12.
Simon Schwendener.

zehnte eine große Reihe Arbeiten von Botanikern mit ähnlichen Zielen, während Zoologen an diesen Forschungen kaum teilnahmen. —

Was dem Tiere das Knochen- und Bindegewebe ist, mit dem es seine Knochen, Bänder, Sehnen etc., also seine Druck- und Zugkonstruktionen baut, das ist der Pflanze in erster Linie der Bast und das Holz; diese mechanischen Zellgewebe bilden das Skelett der Pflanze.

Der Berliner Botaniker Simon Schwendener (übrigens von Geburt ein Schweizer) (Fig. 12) entdeckte, daß

lich und die Gewebe gehen zugrunde. Schließlich sei auch bemerkt, daß die durch die Beanspruchung verstärkte Blutzufuhr allein nicht die ganze Wachstumserscheinung erklärt. Denn sie geht hauptsächlich in der Reizrichtung, nicht allseitig vor sich. Es kommt sehr darauf an, ob z. B. ein Knochen in seiner Längsrichtung, also in natürlicher Weise, belastet wird, oder ob von der Haut aus ein seitlicher, d. h. nicht funktioneller Druck auf ihn übertragen wird. Im letzteren Falle genügen schon kleine Beanspruchungen, um den Schwund der Substanz einzuleiten.

gewisse langgestreckte, röhrenförmige Zellen keine andere Aufgabe haben als die, Festigungen zu bilden. Es war anfangs der siebziger Jahre, als Schwendener das mechanische System zum ersten Male zusammenfassend darstellte und das technische Prinzip in der Anatomie der Pflanzen zur entsprechenden Würdigung brachte.¹⁾

Wie mannigfaltig sind doch die Ansprüche, die an die Festigkeit der Pflanze gestellt werden. Heulend fährt der Sturm über das Gebirge und sucht einen vereinzelt Baum zu entwurzeln. Die an ihm ganz außerordentlich starken Wurzeln halten aber den Stamm wie Ankertaue fest. Der Baum beugt sich und stöhnt, wie der Wind sich im Astwerk fängt und an den Zweigen zerrt. Jeder Blattrand, jede Blattfläche eines Laubbaumes, jedes Strauches, jeder Blume müssen gegen das derbe gegenseitige Aufpeitschen geschützt werden. Und sind die Kräfte der zarten Wasserpflanzen, die in den reißendsten Wildbächen die Steine überziehen, etwa geringer? —

Die Wissenschaft gibt uns die Festigkeit der Gewebe in trockenen Ziffern an. Wie der Ingenieur für seine Eisenkonstruktionen verschiedene Sorten dieses Metalles, hoch- und minderwertige, hat, so stehen auch

¹⁾ Siehe Dr. C. Holtermann: Schwendeners Vorlesungen über mechanische Probleme der Botanik. (Leipzig 1909, Verlag von W. Engelmann.) Die „Physiologische Pflanzenanatomie“ (Leipzig 1904, W. Engelmann) des Grazer Professors G. Haberlandt gibt die mechanische Bedeutung des Pflanzenskelettes in geradezu klassischer Weise.

der Pflanze verschiedene Gewebe zur Verfügung. Für die wichtigsten und am stärksten beanspruchten Skeletteile verwendet sie den Bast und die mechanischen Elemente des Holzes; für die mehr untergeordneten, nicht so heiklen, nicht so eindeutig bestimmten Zwecke das Kollenchym, wie die Technik das schmiedbare Eisen und den Stahl anders verwendet als das Gußeisen. Die Botaniker haben nun gefunden, daß der Bast, dieses hervorragendste aller mechanischen Gewebe, sich beinahe bis zu seinem Bruch elastisch verhält, d. h. nach der Entlastung seine ursprüngliche Länge wieder annimmt. Das Kollenchym hingegen, dieses Füllmaterial, fängt schon bei mäßigen Belastungen zu strecken an, gerade so, wie das Roheisen sehr bald und deutlich bleibende Dehnungen, das sind solche, die nach der Entlastung nicht zurückgehen, erkennen läßt. Das Kollenchym hat seine besondere Bedeutung für die Festigung embryonaler — also sich sehr vergrößernder — Gewebe. Aus Kollenchymgewebe kann mit Beendigung des Wachstums Bast entstehen.

An der Elastizitätsgrenze ist der Bast nun befähigt, pro Flächeneinheit ebensoviel zu tragen wie schmiedbares Eisen, selbst wie Stahl, so daß man also den Bast in gleicher Stärke elastisch beanspruchen könnte wie diese Eisensorten. Es ist aber hierbei zu beachten, daß die elastischen Längenänderungen beim Bast etwa zehnmal so groß sind wie beim Eisen. Freilich reißt beim Überschreiten der Elastizitätsgrenze der Bast ab, während beim schmiedbaren Eisen die Last bei immer

größer werdenden bleibenden Dehnungen noch bis auf das Dreifache gesteigert werden kann. —

Ist ein Pflanzenteil lediglich gegen das Zerreißen zu schützen, nicht auch gegen Biegung und Knickung, so sind die Festigkeitsgewebe zumeist in der Mitte gelagert; dadurch bleibt das Organ möglichst biegsam und vermeidet so die Aufnahme von biegsamen Kräften, welche

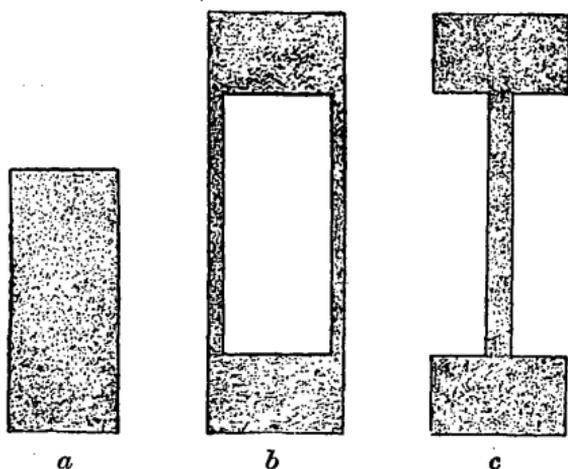


Fig. 13. Träger gleicher Querschnittfläche.

b und *c* haben das dreifache Tragvermögen von *a*.

stets mehr an Material verzehren als reiner Zug. Ferner verstellen dann die mechanischen Bestandteile nicht den Platz an der Oberfläche, der von den assimilierenden Zellen wegen des Lichtes gebraucht wird. Die Wurzeln sind meist auf Zug gebaut, sie sind dadurch fest und biegsam.

Sind einzelne Organe auf Druck oder Knickung beansprucht, so wandern hingegen die Festigkeitsgewebe nach außen. Es ist hauptsächlich das System der I-Träger (Fig. 13), das zur Versteifung der Pflanzenstengel be

nützt wird. Soll nämlich das Material eines auf Biegung beanspruchten Stabes gut ausgenützt werden, so wird man es mit Vorteil möglichst weit von der Mittelschicht auseinandergeben. Zur Aufnahme der abschiebenden Kräfte in der Mittelschicht genügt minderwertiges Material. Auch kann der freigebliebene Raum dazu verwendet

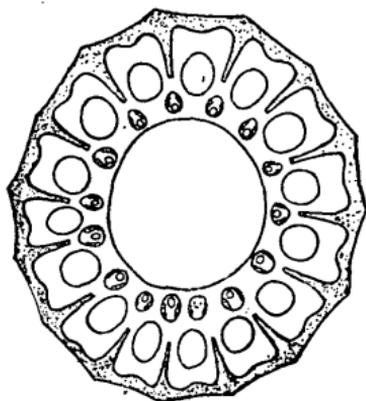


Fig. 14. Querschnitt durch einen Schachtelhalm. (Nach Schwendener.)

werden, wichtige Leitbündel geschützt zu lagern, wie auch bei den Knochen das Mark¹⁾ in ihren Hohlräumen untergebracht ist. Eine runde Säule kann als eine Gemeinschaft solcher I-Träger aufgefaßt werden.

Schon die niedersten Pflanzen (z. B. die Flechten) haben Zug- und Knickfestigungen nach den Grundsätzen, die man bei höheren Pflanzen an der Wurzel und am Stamme findet. Außerordentlich hoch entwickelt sind die Säulenkonstruktionen der Gräser (Fig. 14); sie sind aber auch unter den Organismen eine uralte und weitverzweigte Firma, welche den Kampf ums Dasein seit Millionen von Jahren glänzend bestanden hat.

Ganz sinngemäße Wachstumserscheinungen zeigen sich bei den verschiedenen Pflanzen, die als Lianen

¹⁾ Das Mark hat blutbildende Aufgaben.

leben; es sind dies meist tropische Schlinggewächse von sehr verschiedener Größe, von einigen Millimetern im Durchmesser bis zur Dicke eines Armes. Von Baum zu Baum kletternd umschlingen sie ihre Stützen. Wie Schiffstau hängen ihre Stengel, beziehungsweise ihre Stämme zwischen den Bäumen oder zum Boden hinab.

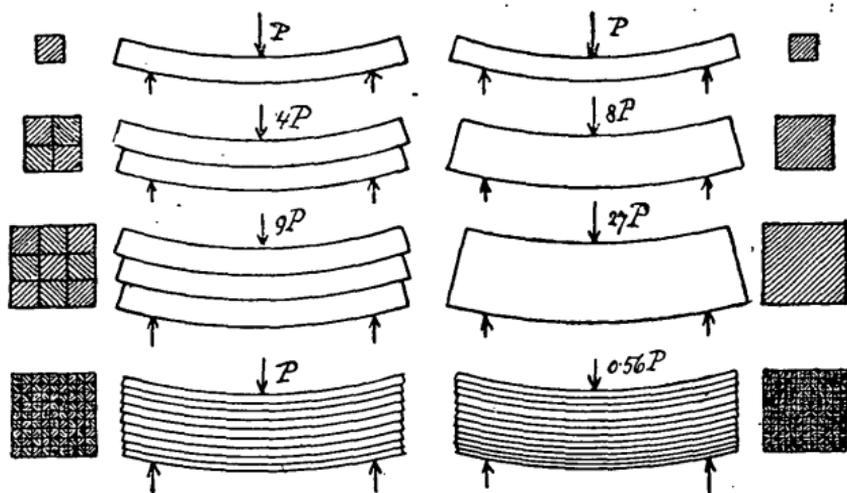


Fig. 15. Biegefestigkeit verschiedener Querschnitte.

Um sich nun auf so viele Meter frei zu tragen, müssen sie sehr zugfest gebaut sein, aber dabei doch biege- und verdrehungsfähig bleiben. Steht die Technik vor dieser Aufgabe, so löst sie den Querschnitt in einzelne Teile auf. Dies bewirkt, wie die obenstehende Fig. 15 zeigt, eine erhebliche Verminderung der Biege- und Torsionsfestigkeit. Die Konstruktion der Drahtseile liegt diesem Prinzip zugrunde. Ein Drahtseil hat ja nur Zugkräfte aufzunehmen. Es ist zugfest und dabei biegsam.

So erscheint auch in den Lianenschnitten (Fig. 16) der Holzkörper in einzelne Litzen aufgelöst, zwischen denen weiches Rindengewebe eingelagert ist. Die Eingeborenen benützen ja die Lianen als Seile.

Eine weitere sehr überzeugende Anpassung an die Beanspruchung durch äußere Kräfte ist die Ausbildung von „Klammerzellen“ (Fig. 17). Jede Furche in einem Körper

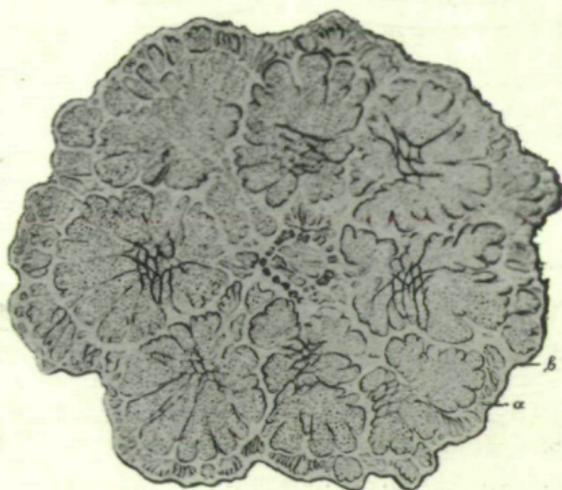


Fig. 16. Querschnitt einer Lianenart (nach Haberlandt).

bedingt eine Gefahr des Aufreißen; es wird durch dieselbe nicht nur der Querschnitt verringert, sondern auch die Kraft an der Einreißstelle konzentriert, die Spannung erhöht. Um der Gefahr zu begegnen, durch einen Riß am Kerbengrund verletzt zu werden, bilden sich an der gefährdeten Stelle Klammerzellen aus. Im embryonalen Zustand noch weich und unförmig, nehmen sie mit der Zeit eine technische Form an; dabei versteifen und ver-

holzen sie und verlieren die Fähigkeit zu wachsen. Sie werden eben reif für ihre Funktion.

Daß sich die Baumstämme in ihrem Wachstum an die vorherrschende Windrichtung anpassen, kann nach dem Gesagten nicht mehr überraschen. Zumeist sind die Baumstämme unsymmetrisch; da jeder Ort eine vorherrschende Windrichtung hat, so passen sich die Baumstämme der häufigeren und dabei wohl auch stärkeren Beanspruchung auf Biegung an. An der Windseite, in welcher die Zugspannungen vorherrschen, entsteht weiches, aber sehr zugfestes Holz, an der dem Winde entzogenen Seite hingegen hartes, welches den Druck sehr gut aufnimmt, ohne dabei zu stauen (Fig. 18). Die Studien haben gelehrt, daß das harte Holz an der Leeseite nur die halbe Zugfestigkeit hat wie das weichere der Windseite.

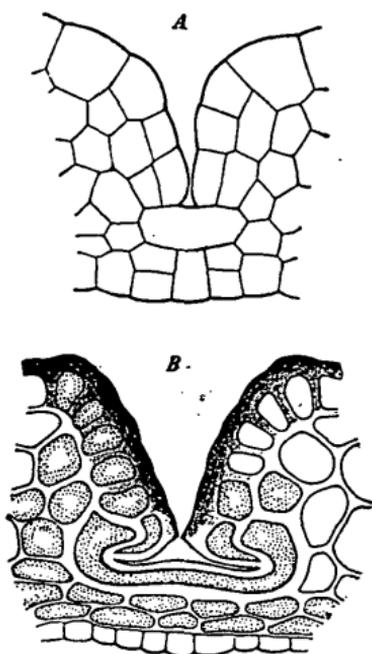


Fig. 17. Klammerzelle.
A im embryonalen Zustande.
B nach Beendigung des Wachstums.

(Nach Haberlandt.)

Nicht selten bilden sich durch den Windanfall Strebe-
pfeiler aus, welche schon eine höhere Art von Nützung,
nämlich eine solche mit Materialersparnis darstellen. —
Man hat die Anpassung der Baumstämme an die Windrich-
tung durch Experimente mehrfach willkürlich erzeugt.

Manchmal werden von der Pflanze, wenn sie sich nicht anders helfen kann, zu ihrer Dienstleistung Organe herangezogen, die nicht dazu da sind und zunächst auch nicht dazu taugen. Hierher gehört die Verwendung von Blättern als Stütze, wie dies beim Ruprechtskraut und anderen Pflanzen beobachtet wurde. Das Pflänzchen könnte sich auf steilen Felswänden durch die Wurzel

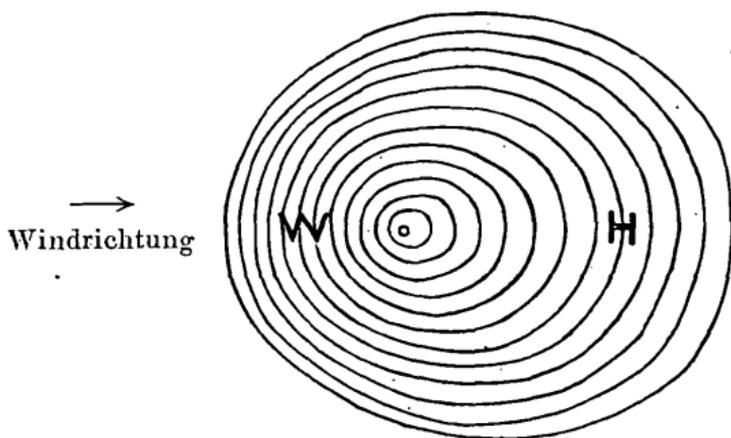


Fig. 18. Durch den Windanfall verursachtes exzentrisches Wachstum.

allein, die in irgendeiner Felsspalte steckt und horizontal hineinwächst, nicht in natürlicher, d. h. aufrechter Stellung halten. Da neigen sich nun die untersten Blätter und stützen sich an die Wand; sie vertrocknen zwar, aber der Blattstengel und die Mittelrippe bleiben noch lange frisch und grün. Verdorren und brechen die Stengel, so treten neue Blätter an ihre Stelle. In den Tropen findet man ganz gewaltige Stützorgane, wie eines davon hier im Bilde (Fig. 19) zu sehen. Es ist dies ein Man-

grovebaum, dessen Stamm im weichen Uferschlamm ganz versinken würde, wenn er nicht in tausend einzelne Stützen aufgelöst wäre, welche die beanspruchte Fläche erweitern und so die spezifische Druckspannung vermindern.¹⁾Nicht wahr! Ganz technisch gedacht, wie man sich ja auch vom tiefen Schnee nur mit Hilfe von Schneeschuhen oder -brettern tragen lassen kann, wenn man nicht einsinken will. —

Sprechen wir nun aber nicht mehr von den Anpassungen an die statischen, sondern von solchen an andere Verhältnisse, z. B. an das Bedürfnis der grünen Pflanzen nach Licht.

Um leben zu können, braucht die Pflanze neben vielen anderen Dingen Licht. Ohne Licht kann das Blattgrün seine assimilierende Wirkung nicht entfalten und die Pflanze nicht gedeihen. Die Pflanze braucht eine bestimmte Helligkeit: nicht zu viel und

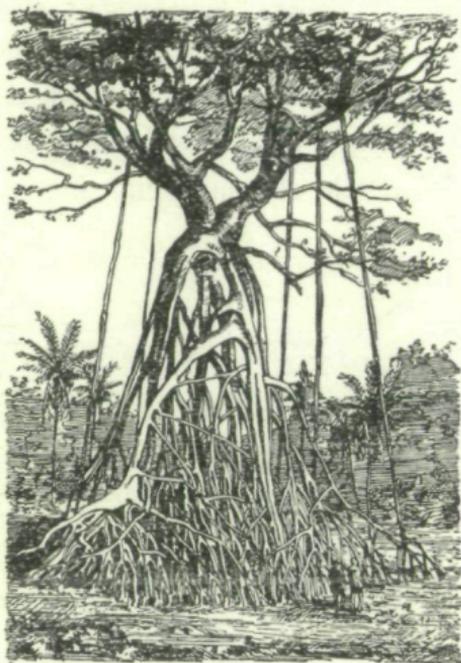


Fig. 19. Der Stelzenapparat eines tropischen Baumes (*Polyalchia*).

Nach Baillon.

¹⁾ R. H. Francé, Das Leben der Pflanze (Stuttgart 1907, Verlag Kosmos).

nicht zu wenig; beides wäre schädlich. Nun gibt es einige Schattenpflanzen, also solche, die mit dem Licht sehr sparsam umgehen müssen, welche Blätter besitzen, deren Oberhaut aus schräg abgedeckten durchsichtigen Zellen besteht. Diese Zellen bewirken, daß auch noch Strahlen aufgefangen werden, die bei Zellen von gewöhnlichem Bau für sie verloren gingen. Fällt nämlich ein

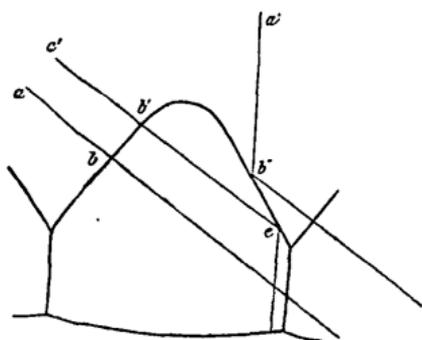


Fig. 20. Strahlenfang.

so geht durch Reflexion ziemlich viel an Licht verloren (Fig. 20); das macht nun bei dieser Art von Deckzellen nichts, denn der reflektierte Strahl trifft dann steil auf die Nachbarwand und wird dort aufgefangen.

Die Technik benützt dieses Prinzip im umgekehrten Sinne, um nämlich einseitig auffallendes Licht zu zerstreuen. Die sogenannten Luxferprismen, welche für Kellerfenster und Stiegenhäuser Verwendung finden, haben außen die glatte und innen die dachförmig geneigten Flächen; dadurch erreicht man, daß das Licht nicht in einem Strahl den Raum durchheilt, sondern ihn allseits und ziemlich gleichmäßig erhellt.

Es gibt tropische Schattenpflanzen, welche durch Sammellinsen der Oberhaut ihrer Blätter befähigt sind, schon sehr geringe Lichtmengen wahrzunehmen. Durch

diesen Reiz stellen sich dann die Blätter senkrecht zu dem durch eine Lücke des dichten Blätterdaches der tropischen Laubwälder fallenden Strahle. Diese Pflanzen schauen also gleichsam mit ihren Augen nach Licht aus. Die Linsen bestehen aus durchsichtiger Zellulose, aber auch aus Kieselsäure, also aus Quarz.

Bekanntlich schützen sich die Blätter vieler Pflanzen automatisch gegen zu viel Licht; sie stellen sich mit den Blatträndern gegen die Sonne. Auch stehen junge, helle Blätter, welche noch nicht so viel Licht vertragen, zu meist im Schatten der älteren. Es ist nun eine kleine unscheinbare Schwimmpflanze, die Wasserlinse, bezüglich ihrer Lichtanpassung untersucht worden. Ihre Blätter schwimmen wie Seerosenblätter auf den Tümpeln und sind, da sie sich nicht aufkanten können, der Sonne gegenüber wehrlos. Hier wandern nun die Chlorophyllkörner in den Zellen. Ist es schattig, so stellen sie sich an die horizontalen Wände, um das wenige Licht auszunützen.

Sehr bemerkenswert sind auch die Lichtschutzmittel der leuchtenden Algen. Diese besitzen geradezu Vorhänge. Im Innern der an der Oberfläche liegenden Zellen befinden sich gewisse gallertige Körperchen, welche bei zu grellem Lichte die Außenwand abdecken, beim Dunkelwerden kriechen diese wieder an die Seitenwände zurück. Diese Plättchen schließen übrigens nicht alles Licht aus, sie lassen vielmehr die der Pflanze bekömmlichen Strahlen durch.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [49](#)

Autor(en)/Author(s): Leon Alfons

Artikel/Article: [Baugesetze in Natur und Technik. 423-449](#)