

## Das Schraubungsprinzip in der Natur.

Von Dr. Hans Günther, Leipzig.

§ 1. In das an der organisierten Substanz ausgeprägte biostatistisch begründete Prinzip der Symmetrie bringt der Begriff des materiellen Geschehens einen Dualismus, indem er den Begriff der Richtung und den damit verbundenen der Gegenrichtung einschließt. Mit der Vorstellung der reinen Form einer symmetrischen ebenen Figur (z. B. Kreis), oder eines symmetrischen Körpers (Würfel, Kugel) ist primär der Begriff „Rechts — Links“ (in dem nach Study „ein axiomatischer Bestandteil“ liege) nicht verbunden. Letzterer erscheint erst in der Begleitung einer Bewegungsvorstellung oder bei der physiologischen Vorstellung einer organisierten Substanz oder bei der physiologischen Orientierung im Raume (welche, wie E. Mach sagt, eine Ungleichwertigkeit — Anisotropie — der Dimensionen des physiologischen Raumes fordert) nach einem bestimmten Koordinatensystem (dessen 0-Punkt z. B. auf einer Symmetrieachse in der „Medianebene“ liegen möge).

Selbst das rektanguläre Koordinatensystem ist aber nicht eindeutig bestimmt, wenn es sich um Drehungen handelt. Denn wir unterscheiden das bei uns gewöhnlich verwendete rechtsseitige (englische) und das linksseitige (franz. Koordinatensystem).

Im rechtsseitigen Koordinatensystem soll die Drehung eines Radiusvektors von der „+X“ zur „+Y“ Achse, resp. „+Y“ zur „+Z“ und „+Z“ zur „+X“ Achse den Sinn der positiven Drehung angeben. Diese Drehung erfolgt dann im Sinne der Rechtsdrehung und im Sinne der Uhrzeigerbewegung, wenn man die Drehung von der dazu normalen negativen Koordinate (Drehungsachse) aus betrachtet. Positiv orientiert im Raume sind ferner die Drehungen dann, wenn außerdem eine Drehung aus der Koordinatenebene heraus durch Drehung der Drehungsachse im positiven Sinne (Drehzentrum im Ursprung) erfolgt.

Ein gegebenes rotierendes System läßt sich aber willkürlich verschieden im Raume orientieren. Eine eindeutige Bestimmung des Drehungssinnes ist erst möglich, wenn gleichzeitig eine bestimmte Bewegungsrichtung des Systems gegeben ist. Der einfachste Fall ist der, daß ein Punkt, der eine Kreisbewegung macht, gleichzeitig eine Beschleunigung in der Richtung der Drehungsachse erfährt, so daß er eine gewöhnliche Schraubenlinie beschreibt.

Den Drehungssinn der Schraubenlinie wollen wir nun stets so bestimmen, daß wir die Bewegung in der Richtung der Drehungsachse so betrachten, daß der rotierende Punkt sich von uns fort bewegt. Die eindeutige Bezeichnung des Drehungssinnes entspricht dann der üblichen, auf die Uhrzeigerdrehung bezogenen Ausdrucksweise.

Allgemeiner bestimmen wir den Drehungssinn irgend

eines Systems, indem wir dieses in der dem ganzen System eigenen Bewegungsrichtung (so daß dieses sich von uns fortbewegt) betrachten. Bei dieser Bestimmungsmethode entspricht also die positive Drehung der Rechtsdrehung.

Einen ähnlichen Sinn hat die von Study gegebene Definition: „Wenn eine Schraubung um eine orientierte Gerade der positiven Richtung dieser Geraden ihren positiven Drehungssinn zuordnet, so ist die Schraubung rechtsgewunden.“

Eine oberflächliche Orientierung ermöglicht die anschauliche Bestimmung: „Auf einen Rotationszylinder mit senkrechter Achse sei eine gemeine Schraubenlinie verzeichnet. Wenn diese für den außenstehenden Beschauer von links unten nach rechts oben verläuft, so soll sie rechtsgewunden, im entgegengesetzten Falle linksgewunden heißen“ (Study), oder die Vorstellung einer Wendeltreppe, die rechtsgewunden ist, wenn beim Hinabsteigen die Achse zur Rechten ist. Definitionen, wie: „Eine Bewegung heißt rechtsgewunden, wenn sie in zwei Umwendungen um Gerade zerlegt werden kann, die ein rechtsgewundenes Paar bilden“ oder: „Eine Kurve heißt dort linksgewunden, wo ihre Tangentenfläche rechtsgewunden ist und umgekehrt“ bezeichnet Study selbst als gewaltsam und nur aus praktischen Gründen gebildet.

Wird eine Dimension der Schraubenbewegung gleich 0, so entsteht einerseits (Ausschaltung von Beschleunigung in Richtung der Drehungsachse) die ebene Drehung, andererseits (Ausschaltung einer Komponente der Kreisbewegung) eine wellenförmige ebene Kurve.

Der Rhythmus der Schraube wird durch die Ganghöhe repräsentiert.

Eine Umkehr des Schraubensinnes erhält man durch Spiegelung. In gleicher Weise gibt rein geometrisch die Spiegelung einer zentral-symmetrischen Form (z. B. Rechtsform) die entsprechende Linksform, während die lateral-symmetrische Form dem Spiegelbilde gleicht. Eine R.- und L.-Form lassen sich zu einer lateral-symmetrischen Form konjugieren (konjugierte Form), z. B. auch eine R.- und L.-Schraube so ineinander legen, daß ein lateral-symmetrisches Gebilde entsteht. Es besteht eine gewisse Analogie zwischen den aus physiologischen Vorstellungen entspringenen R.- und L.-Formen und den mathematischen „Originalfunktionen“ und „inversen Funktionen“.

§ 2. Die meisten „absoluten“ (im Sinne der erweiterten Relativität) Bewegungen im Raume stellen Schraubungen dar. Jede unendlich kleine Bewegung ist eine Schraubung.

Als Herschel bei der Untersuchung der Drehung der Polarisationsebene des Lichtes im Quarze eine Schraubenstruktur des letzteren annahm, sprach er von einer „helikoidalen Dyssymmetrie“. Durch die Einführung des Begriffes der Asymmetrie wird hier nichts gewonnen; wir könnten ebensogut unter Erweiterung des Begriffes der Symmetrie von einer besonderen Form der Symmetrie („helikoidalen Symmetrie“) sprechen, denn auch an einer gewöhnlichen Schraube lassen sich Symmetrieverhältnisse nachweisen, auch läßt sich ein völlig symmetrischer, biegsamer Körper (Wurm, Schlange) in schraubenartige Lage bringen, resp. kann sich in Schraubenrichtung bewegen.

Symmetrie und Schraubung schließen sich also gegenseitig nicht aus, sondern die Schraubung stellt eine besondere Art der Symmetrie dar.

§ 3. Um den Drehungssinn der in der Natur vorkommenden Rotationen und Schraubungen wissenschaftlich festzustellen, ist die allgemeine Anwendung einer Definition, wie etwa der oben gegebenen, unbedingt nötig, um Widersprüche zu vermeiden. Leider finden sich in der Naturwissenschaft und selbst in der Mathematik, wie auch Vertreter verschiedener Disziplinen (van Iterson, R. Fick, Study) besonders betonen, häufige Widersprüche und Verwirrung. So entsprechen im allgemeinen die Bezeichnungen von Zoologen und Technikern der hier gegebenen Definition, während Botaniker u. a. dieselben Ausdrücke im entgegengesetzten Sinne brauchen. Besonders in der Botanik ist seit Listing und Linné dieser Brauch üblich geworden, wie man aus Lehrbüchern von Pfeffer, Jost etc. sehen kann. van Iterson benutzte selbst bei der mathematischen Behandlung botanischen Materials die gegensinnige, in der Botanik übliche Definition.

Zoologen verwenden außerdem die Ausdrücke: „dextrotrop und „läotrop“, welche aber fälschlich auch im entgegengesetzten Sinne gebraucht werden. Ein Botaniker sprach sogar von „südöstlichen“ und „südwestlichen“ Gewinden. In allen naturwissenschaftlichen Fächern begegnen wir dem Prinzip der Schraubung. Bevor in den folgenden Paragraphen näher darauf eingegangen wird, sei betont, daß mitunter die Schraubungsrichtung ohne die Möglichkeit einer Nachprüfung mit der von den betreffenden Autoren stammenden Bezeichnung wiedergegeben werden mußte und daß in einzelnen Fällen eventuell noch Korrekturen gemäß einer einheitlichen Definition nötig sind.

Der Schraubungssinn wird bei Betrachtung durch das Mikroskop nicht verändert; eine Umkehrung findet aber z. B. bei Verwendung des alten Sömmering'schen Zeichnungsapparates statt. Nach Nägeli und Schwendener (Das Mikroskop, Leipzig 1867) „haben schon manche Mikroskopiker den Beweis geliefert, daß sie über dergleichen Dinge noch ganz im Unklaren sind“.

§ 4. Unter den physikalischen Erscheinungen sei zunächst die elektromagnetische Rechtsschraubung genannt. Ferner ist bekannt, daß ein Drahtleiter in Magnetfelde rechtsgeschraubte Torsion erleidet, wenn er in der Nordsüdrichtung von einem elektrischen Strome durchflossen wird. (Matteuci-Wiedemann.)

Besondere Beachtung verdient hier die optische Drehung der Polarisationssebene des Lichtes, welche in dem „optisch aktiven“ Medium im Sinne der R.- oder L.-Drehung erfolgt. Pasteur hat zuerst den Zusammenhang zwischen dieser optischen Aktivität und der Kristallform der betreffenden Substanz klargestellt. Der enantiomorphe Bau dieser Kristallformen, welche die Stereochemie als „asymmetrisch“ bezeichnet, läßt schon äußerlich eine Schraubensstruktur erkennen.

Bei der Polarisation des Lichtstrahles erfolgt nach Fresnel

eine Spaltung in einen r.- und l.-geschraubten Strahl; der normal gegen die Schraubenstruktur des Körpers verlaufende Strahl erlangt die größere Geschwindigkeit und bestimmt somit die „Drehung der Polarisationssebene“. Also z. B. im Rechtsquarz erzeugt der linksgeschraubte Strahl für den in entgegengesetzter Richtung Beobachtenden die „Rechtsdrehung“ der Polarisationssebene. Dementsprechend gilt die Definition von Kohlrausch, daß „Rechtsdrehung“ dann stattfindet, „wenn die Schwingungsebene des Lichtes sich im umgekehrten Sinne des Korkziehers verschiebt, d. h. wenn dieselbe dem empfangenden Auge in der Richtung des Uhrzeigers gedreht erscheint“. Herr Geh.-Rat Prof. Dr. Wiener gab mir die gütige Auskunft, daß diese Definition in der Physik jetzt allgemein gilt. Rechtsschraubung des Lichtes wird aber als „Linksdrehung“ bezeichnet und ist auf Linksstruktur zu beziehen. Die von Lummer (in Müller-Pouillet 1909, III. 3. p. 999) gegebene Definition: „Eine Drehung der Polarisationssebene nach der rechten Seite erfolgt, wenn der rechtsrotierende Strahl sich schneller durch die Quarzplatte fortpflanzt“, steht hierzu im Widerspruch (Rechtsrotation ist dabei als Rechtsschraubung abgebildet). Die Entstehung der optischen Drehung durch Schraubenstruktur läßt sich auch experimentell verwirklichen. Werden z. B. dünne Glimmerblättchen der Struktur des Rechtsquarzes entsprechend in R.-Schraubenanordnung übereinandergeschichtet, so zeigt ein in der Richtung der Schraubenachse einfallender Lichtstrahl für den dem Strahle entgegenglickenden Beobachter „Rechtsdrehung“ (Reusch).

Manche Stoffe drehen nur 1. im kristallinen, manche nur 2. im amorphen, flüssigen oder gelösten, andere 3. in beiden Zuständen. Die R.- und L.-Kristalle gewisser Substanzen können übrigens verschiedene Löslichkeit zeigen. Bei Stoffen der 1. Klasse ist nach Sommerfeld eine spiegelbildliche Symmetrie der Moleküle nicht ausgeschlossen. Bei den übrigen Klassen neigt die Chemie zu der Ansicht, daß die physikalischen Vorgänge im Molekül, resp. der „Bau“ der Moleküle denselben Drehungssinn aufweisen. Die biologische Tatsache ist zu beachten, daß die Eiweißkörper meist eine Rechtsschraubung des Lichtstrahles verursachen, also nach der üblichen Bestimmungsmethode „linksdrehend“ sind; die wichtige Gruppe aber der Nucleoproteide und des Hämoglobins sind „rechtsdrehend“. Die optische Aktivität ist eine wesentliche Eigenschaft der biologischen, synthetischen Produkte, welche im Gegensatz zu den artifiziellen Produkten des Laboratoriums als wichtiges Charakteristikum der lebenden Substanz eine spezifische Schraubungsrichtung zeigen. Schon Pasteur fragte sich, was wohl für Lebensgebilde entstehen würden bei einer Inversion des Schraubungssinnes der Zellulose und der Eiweißkörper. „If such circumstances could be realised in the living tissues, investigations of inlimited range would be open to the future, and at present

such questions are worthy of the most careful attention of scientists“ (F. M. Jaeger). A. Byk sucht diese spezifische Einseitigkeit des Schraubungssinnes der organischen Synthese auf die Wirkung des an Wasseroberflächen reflektierten, zirkular polarisierten, unter dem Einfluß des terrestrischen Magnetismus stehenden Lichtes zurückzuführen.

Nach Sommerfeld kann man bei alleiniger Anwendung der Punktsysteme ohne Berücksichtigung der räumlichen Ausdehnung der Formelemente das Drehungsvermögen lediglich im regulären, tetragonalen und hexagonalen System erklären; „wenn man aber körperliche Formelemente im Raume gruppiert, so genügen schon die Raungitter, um auch in den niedriger symmetrischen Systemen die Verschiedenheit der Rechts- und Linksstrukturen zu erkennen“. Bei Raungittern kommt es nach Sommerfeld weniger auf Symmetrieeigenschaften an. Teilflächige Symmetrie sei durch „alternierende Gitter“ zu erklären. Je nachdem die Teilgitter im rechten oder linken Schraubensinne aufeinander folgen, lassen sich rechts- oder linksgewendete Kristallstrukturen erzeugen. Das optische Drehungsvermögen läßt sich also danach nicht nur durch eine entsprechende Eigenschaft der Moleküle, sondern auch durch eine schraubenförmige Anordnung der Moleküle im Raume erklären.

Bedeutsame Ergebnisse hatten die Studien der flüssigen Kristalle, durch die noch weitere tiefgreifende Umgestaltungen unserer Theorien über Kristallographie und Molekularphysik zu erwarten sind. Die Kristallenergien äußern sich durch die verschiedenartigsten Phänomene, von denen hier besonders die Schraubungsphänomene interessieren.

Durch Wallerant's Untersuchungen war bereits bekannt, daß durch Aufnahme fremder Moleküle, besonders optisch aktiver Stoffe, in das Raungitter eines Kristalls schraubenförmige Verdrehungen erzeugt werden, welche nach O. Lehmann's Meinung auf den spiralen Bau dieser Moleküle zurückzuführen sind.

Bei flüssigen Kristallen hat besonders das Kolophonium die Wirkung, Schraubenstruktur und Zirkularpolarisation hervorbringen, speziell dessen Abietinsäure (Vorländer und Janecke), von der schon sehr geringe Mengen zur „zirkularen Infektion“ genügen.

Bei Paraazoxyphenetol erzeugen Olivenöl oder Cholesterylbenzoat entgegengesetzte Drehung wie Kolophonium und Abietinsäure, und zwar scheint nach Abbildungen O. Lehmann's Cholesterylbenzoat Rechtsschraubung hervorzurufen.

Diese Phänomene treten besonders deutlich an Kapillarsäulen des tropfbar-flüssig-kristallinen Paraazoxyphenetols hervor. Die Ganghöhe war von der Konzentration des Zusatzes abhängig, durch Zusatz beider autogonistischer Substanzen trat Kompensation ein.

Zuweilen entstanden auch bei homogenen Säulen kristallinischer Flüssigkeiten Spiralstrukturen, wenn das Temperaturgefälle zwischen Unter- und Oberseite verstärkt wurde. Ebenso war eine scheinbare Rotation der Tropfen in Olivenöl als Lösungsmittel und in entgegengesetztem Sinne bei Kolophonzusatz bemerkbar. Bei Tropfen, die Olivenöl und sehr wenig Kolophonium enthalten, lassen sich Oszillationen verbunden mit regelmäßigem Wechsel der Struktur nachweisen.

Ferner sah O. Lehmann beim Zusammenfließen zweier angeschmiegener, gleichförmig grau erscheinender Tropfen flüssiger Kristalle in beiden Tropfenhälften entgegengesetzte Schraubensstruktur; es fand also ein symmetrischer Ausgleich statt.

§ 5. Auch im Makrokosmos erkennen wir das Schraubungsprinzip. Die Bestimmung der Drehungsrichtung unseres isoliert gedachten Planetensystems würde nicht eindeutig möglich sein, da wir ja die Bewegung einem bestimmten Weltpole, aber ebensogut auch dem anderen Weltpole zuordnen können. Diese doppelsinnige Deutung vermeiden wir, wenn wir definitionsgemäß berücksichtigen, daß das ganze System eine Bewegung in der Richtung nach einem Punkte im Sternbilde des Herkules ausführt. Die Bewegungsrichtung entspricht dabei einer Deklination plus  $28^{\circ}$  (Rektaszension ca. 269 bis 277<sup>o</sup>)<sup>1)</sup>. Dann können wir eindeutig z. B. die Drehung unserer Erde als Rechtsdrehung, die aus der Erdbahnbewegung und Bewegung des Sonnensystems zusammengesetzte Bewegung als Rechtsschraubung bezeichnen.

Allen Planeten kommt bemerkenswerterweise der gleiche Drehungssinn zu. (Eine ähnliche Konstanz findet sich auch bei Wirbelwinden.)

Berücksichtigt man außer der Bahn des Planeten dessen Eigenrotation, so bildet die Bahn eines Punktes der Erdoberfläche eine superponierte Schraubung II. Ordnung; eine ähnliche Kurve finden wir (s. u.) bei der Körperform von gewissen Spirochaeten.

Theoretisch ist die Annahme schon als Analogieschluß aus den Befunden im Mikrokosmos berechtigt, daß es auch linksdrehende Systeme gibt.

§ 6. Das in der allgemeinen Physik herrschende Schraubungsprinzip muß auch in der Morphologie und Physiologie der Organismen in irgendwelchen Formen zum Ausdruck kommen, sowohl in der Wachstumsbewegung einzelner Teile, als auch in der Bewegung des gesamten Organismus.

Wie die Ortsbewegung einerseits nach biostatistischen Gesetzen die bilaterale Symmetrie des Organismus begründet, führen andererseits Bewegungstendenzen beim Wachstum und gewisse Bewegungen des ganzen Organismus zur Unterordnung unter das dualistische

1) Herrn Geheimrat Galle-Potsdam bin ich für gütige Auskunft in astronomischen Fragen zu großem Danke verpflichtet.

Schraubungsprinzip. Bilaterale Symmetrie und Schraubung sind daher, allerdings in verschiedenartigem Sinne, Funktionen der Bewegung. Um hier eine Übereinstimmung in der Bezeichnung des Drehungssinnes zu erzielen, muß definitionsgemäß die Bestimmung bei Organismen immer beim Anblick in der Richtung der Bewegung (von uns fort), resp. des Längenwachstums oder Höhenwachstums (negative Gravitationsrichtung) erfolgen.

Einen allmählichen Übergang von einem Drehungssinn in den anderen im Sinne einer Variation gibt es hier nicht, sondern nur ein Entweder — oder. Es werden daher die von der Norm abweichenden Formen hier zunächst nicht als Varianten (z. B. Linksvarianten) bezeichnet, sondern als Heterotypen oder inverse Formen.

§ 7. Schon bei den niedersten einzelligen Organismen findet man Schraubungssymptome, so bei den wellenförmigen Vibrionen und schraubenförmigen starren Spirillen. Diese errögen nach Nägeli-Schwendener und Ferd. Cohn bei Drehung um ihre Achse die Sinnestäuschung der Schlangenbewegung trotz der starren, unveränderlichen Form. Besonders ausgeprägt ist die Schraubung bei *Spirochaeten* mit korkzieherartig fixierter, fast starr erscheinender Gestalt mit mehr oder weniger zahlreichen, meist gegeneinander symmetrischen Windungen („welche untereinander meist den gleichen Radius besitzen“ Doflein). Die relativ große, im Süßwasser lebende *Spirochaeta plicatilis* Ehrenberg zeigt eine doppelte Schraubung, indem sich außer den kleinen Schraubenwindungen noch eine superponierte Schraubung zweiter Ordnung findet. Die Rotation findet nach Doflein in der Richtung des Uhrzeigers und auch in entgegengesetzter Richtung statt; es fehlt hier die Angabe, ob sich dabei auch die Bewegungsrichtung umkehrt. Speziell bei *Spirochaeta pallida* sind die Windungen konstant mit bestimmtem Schraubenwinkel, die Spirale ist nach Schaudinn „präformiert“; bei *S. pallida* läßt sich der Schraubungssinn wegen der Kleinheit des Objektes nicht mit Sicherheit bestimmen. Jaffé bildet bei *Spirochaeta culicis* Linksschraubung ab.

Schraubungsphänomene sind ferner bei Trypanosomen angedeutet, bei Radiolarien u. a. deutlich ausgeprägt.

§ 8. Unter den Pflanzen kommt das Schraubungsprinzip besonders deutlich bei Schlingpflanzen zum Ausdruck. Als fast gesetzmäßige Erscheinungen sind dabei hervorzuheben die Prävalenz der Rechtswindung und die Unveränderlichkeit des Schraubungssinnes innerhalb der Spezies. Man findet konstante Rechtsschraubung bei *Phaseolus multifl.*, *Convolv. sep.*, *Aristolochia*, *Ipomoea purp.*, *Menispermum can.* etc., Linksschraubung dagegen u. a. bei *Humulus lup.*, *Lonicera caprif.*, *Polygonum convolv.*, *Testudinaria eleph.* Bei einzelnen Pflanzen, z. B. *Polygonum compl.* und *Solanum dulc.* finden sich allerdings einzelne Individuen und selbst einzelne Sprosse desselben Individuums mit gegensinniger Windung. Es kommen auch

freie Windungen vor, besonders unter ungünstigen Wachstumsbedingungen.

Spirale Anordnung findet sich bei Blattanlagen; bedeutsam ist die von van Iterson festgestellte Übereinstimmung in den Gesetzen der Anlegung neuer Blätter und der Kammern von Foraminiferen. Eine morphologische Schraubungserscheinung läßt sich in der Blattordnung z. B. von Blüten nachweisen („spirotropes Wachstum“). So kann man nach Brenner bei der oberflächlich betrachtet symmetrisch erscheinenden *Saxifraga granul.* eine R- und L-Form analysieren. Ein anderes ätiologisches Moment spielt wohl bei der Rollung des ersten Blattes von Sämlingen, da man nach Compton bei der zweireihigen Gerste R- und L-Schraubung in annähernd gleichem Verhältnisse (42:58) findet. Nur muß die Bezeichnung Comptons: „linkshändige Faltung“ im Sinne der Einrollung des Blattes als Rechtsschraubung bezeichnet werden.

Schraubungserscheinungen zeigen besonders auch verschiedene Früchte; bei Fruchtständen mit raumgitterartig angeordneten Früchten (*Pinus*, *Helianthus*, *Ananassa* etc.) finden sich beide Schraubenrichtungen an demselben Körper (Parastichien).

Interessant sind die von Compton aufgedeckten Beziehungen zwischen der Lage des Samens im Fruchtstand und der späteren Rollung des ersten Blattes. Danach gehen aus den Körnern der jedesmaligen linken Reihe der paarigen Fruchtreihen linksgeschraubte (im obigen Sinne) erste Blätter hervor; doch handelt es sich nach Compton dabei nicht um erbliche Anlagen. Die Samenanlagenfächer der Fruchtknoten von *Aesculus* zeigen R- und L-Formen, für deren Zusammensetzung im ganzen Fruchtknoten nach Löwi die Wahrscheinlichkeitsrechnung sich anwenden läßt.

Die Zelle der Fadenalge *Spirogyra* enthält nach Abbildung in Verworn's Allg. Physiologie eine rechtsgeschraubte Chlorophyllbandspirale, nach Nägeli und Schwendener dagegen eine linksgeschraubte.

Die Schraubenstruktur kommt bei Pflanzen oft durch Quellung zum Vorschein. Bei Schachtelhalmsporen erfolgen die schnellen Bewegungen der Zellulosemembranen (Elateren) unter schraubenförmiger Anlagerung an den Sporenkörper infolge Quellung. Andererseits erfolgt beim Storchschnabel (*Erodium cicut.*) die Rechtsschraubung der behaarten Fahne des Samens durch Entquellung (Verworn).

§ 9. Bei den Tieren ist ebenfalls ein Vorwiegen der Rechtsschraubung feststellbar.

Als Typus für die Schraubenerscheinungen können die Schnecken gelten. Auch bei diesen ist neben der Prävalenz der Rechtsschraubung (Fischer und Bouvier) noch die Bedeutung des Windungssinnes als konstantes Gattungssymptom zu erwähnen.

Es kommen aber auch Heterotypen einer Gattung vor, z. B. die „*aberratio sinistrorsa*“ der Weinbergschnecke; diese Linksform



ist aber selten und nach Lang nicht erblich. Bei *Helix pom.* fand de Mortillet unter 18000 Exemplaren 6 mal ( $= 0,03\%$ ) Linksformen (zit. Fischer-Bouvier). Die örtliche Häufung der Linkstypen soll allerdings nach Haecker für einen Einfluß der Vererbung sprechen. (Bei den Schnecken *Amphidromus* und *Achatinella* sollen ungefähr ebensoviele R.- und L.-formen vorkommen). Nach P. Hesse sind Linksschnecken meist zum Cölibat verurteilt.

Es gibt auch „falsch“ gewundene (hyperstrophe und heterostrophe) Gehäuse bei gegensinnig gewundenen Schnecken, sowie plötzliche ontogenetische Umkehr des Windungssinnes.

Die Schraubungsrichtung ist hier nicht so zu deuten, daß das Wachstum vom Ursprung aus in Richtung einer Abwärtsschraubung erfolgt, denn das Wachstum kann nicht ohne Unterstützungspunkt quasi in der Luft beginnen. Sondern das Gehäuse wird im Sinne der Aufwärtsschraubung (besonders bei Wassertieren in der Richtung des Auftriebes) verschoben.

Bei Muscheln, z. B. *Isocardia*, ist der Wirbel der rechten Schalenhälfte links-, der anderen rechts gewunden. Auch unter Kephelopoden und Pteropoden gibt es regelmäßig (links) geschraubte Formen (*Turrilites*, *Spiralis*).

Im indischen Volke scheint ein besonderes Interesse für den Windungssinn der Schnecken wohl infolge der Verwendung als Münze verbreitet zu sein. Die Statue des Wischnu trägt immer in der linken Hand eine linksgewundene Turbinella; ein Inder zahlte für eine solche Linksturbinella (Tjanko genannt) 1000 Franken (Fischer-Bouvier).

Zur Feststellung des ätiologischen strophogenen Faktors ist die retrograde morphologische Erforschung des embryonalen Wachstumsprozesses erforderlich. Es gelang so, nachzuweisen, daß der Schraubungssinn schon am Spiraltypus der Furchung mit Schrägstellung der Kernspindel erkennbar ist (Compton).

Crampton und Kofoid fanden 1894, daß sich bei den Linksschnecken *Physa* und *Planorbis* die Schraubung schon vor der 2. Teilung nachweisen läßt. Bei *Crepidula* beginnt die Rechtschraubung nach Conklin schon mit der 1. Teilung und wird sichtbar, wenn die vier am vegetativen Pole gelegenen Makromeren zur Bildung des fünften „Mikromerenquartetts“ schreiten. Daß schon beim Reifungsprozeß an der Kernspindel eine Schraubungsrichtung zu erkennen sei (Merk, Kostanecki und Wierzejski), konnte Conklin nicht bestätigen. Conklin sieht den ätiologischen Faktor in der Umkehrung der Polarität des Eies.

Eine Schraubenstruktur läßt sich aber schon im Zellkern nachweisen. K. C. Schneider fand nämlich in jedem Tochterchromosom bei der Salamanderlarve zwei aneinandergelegte Spiralen, auf die allein sich die chromatische Substanz beschränkt und die auch während der Kernruhe als farblose Fäden bestehen bleiben. Es wäre wichtig, festzustellen, ob sich hier schon Gesetzmäßigkeiten bezüglich des Schraubungssinnes ergeben.

Auch an der kontraktile Substanz findet man Schraubungsvorgänge, z. B. bei der Geißelbewegung. Der sogenannte Muskel-

faden im Stile der *Vorticella* im Zustande der „Kontraktion“ Rechtsschraubung, könnte man hier nicht, ähnlich wie es Pütter für die Stäbchen der anisotropen Schicht der quergestreiften Muskulatur annimmt, vermuten, daß im Zustande der „Kontraktion“ eine Entspannung stattfindet, und daß die die Schraubenform bewirkende Substanz des Vortizellenfadens im „Ruhezustande“ gleich einer Feder gespannt ist? Die Spannungsänderung wird dann eventuell durch osmotische Vorgänge durch die Stilscheide bewirkt. Die Struktur der „doppeltschräggestreiften“ Muskulatur der Mollusken und einiger Würmer ist vielleicht durch eine Schar von Spiralbändern bedingt; diese ist nach Abbildungen (Ballowitz) bei *Sepia rondel.* links geschraubt.

Ein eigentümliches Phänomen ist die alternierende Drehung von Organen bei Cestodenproglottiden; bei *Taenia solium* finden sich die Genitalpapillen abwechselnd an der rechten Seite einer Proglottide und an der linken der folgenden etc. Bei Würmern findet sich auch die Prävalenz eines Schraubungssinnes. Zur Straßen fand unter 125 Individuen von *Ascaris megal.* nur 4 inverse Formen. Spiralwindung des Darmes findet sich bei vielen festsitzenden Tieren, z. B. Crinoiden.

Völlig symmetrische Formen können, wie bereits in § 2 erwähnt, Bewegung und Lagerung in Schraubenrichtung zeigen. Bei der Enzystierung (z. B. *Trichina spiralis*) dürfte dabei das Prinzip der minimalen Oberfläche der Kapsel maßgebend sein. Viele Ortsbewegungen sind schraubenartig, wobei aber infolge des Körperbaues oder der ebenen Bewegungsbasis (Kriechtiere) eine Dimension verschwinden kann, so daß eine wellenähnliche Bewegung resultiert. Beim Borstenwurm *Tubifex* ist die Grundform der Bewegung des Hinterleibes nach Szymanski die Spiralenform (nach Abbildung Linksschraubung).

Bei Vertebraten seien zunächst die gesetzmäßigen embryologischen Drehungsprozesse am Intestinaltraktus nebst Anhängen, des Herzens etc. erwähnt. Conklin weist darauf hin, daß bei bilateral vorhandenen Organen die Inversion der Wahrnehmung entgehen kann. Die Nabelschnurarterien verlaufen in Linksschraubung zur Plazenta. Die am Muskel nachgewiesenen „Noniusperioden“ führen Heidenhain zu der Theorie der Schraubengänge, daß also z. B. die Telophragmen eine Wendeltreppe mit sehr geringer Steigung bilden.

Das Schraubungsprinzip kann besonders deutlich an epithelialen Körperanhängen, wie Haaren, Hörnern, Geweihen zum Ausdruck kommen.

Bei der Geweihbildung findet sich häufig die Tendenz zur Schraubung; in hohem Grade tritt dies bei den „Korkziehergeweihen“ hervor. V. Haecker glaubt, daß bei diesen nicht nur mechanische Faktoren, wie Verletzung der Stirnzapfen und Hinterextremitäten oder Stoffwechselstörungen, wie Lungenseuche (Strongylosis), sondern auch eine „Keimesvariation“ in Betracht komme. Der Schraubungssinn entspricht zuweilen nicht der Körperseite. So haben manche Schafe oder Ziegen das rechte Horn rechts-, andere linksgewunden. Der „genetische Gabelpunkt“ (V. Haecker) ist hier vielleicht in der Anlage der Blutgefäße in dem das präostale Bildungsgewebe umhüllenden, wachstumsleitenden Periostracum zu suchen, da diese hier am „Wachstumsscheitel“ wirbelartig angeordnet sind (Rhumler). Die beim Menschen selten beobachtete Hornbildung an der Stirn zeigt nach einer Abbildung von Heurtau x an der rechten Seite Rechtsschraubung.

Manche Gelenkflächen zeigen Schraubenform. Dabei ist hervorzuheben, daß der Drehungssinn meist der Körperseite entspricht, also Gelenkflächen der rechten Körperhälfte rechtsgewunden sind (R. Fick). Boegle sucht diese Tatsache zu verallgemeinern und glaubt, daß die Grundform der Bewegungsorgane eine schneckenförmige sei, deren Charakter besonders deutlich an den Gelenkflächen hervortrete.

Als wesentlich ist nochmals hervorzuheben, daß bei bilateral-symmetrischen Organismen Schraubungsprinzip und Symmetrieverhältnis gewöhnlich einander entsprechen (Rechtseite — Rechtsschraubung). Dieser Umstand kann zu der Anschauung einer feineren gegensinnigen Differenzierung des rechts- und linksseitigen Gewebes führen, welche schon in älterer Zeit ausartete in die gesonderte physiologische Betrachtung der beiden Tierhälften, in die Unterscheidung des rechten und linken Menschen.

Wenn Bewegungen und Handlungen infolge besonderer Spezialisierung einseitig ausgeführt werden müssen, so ist es wahrscheinlich, daß diejenige Seite bevorzugt wird, welche auch bei der artspezifischen Schraubungsrichtung den Vortritt hat, also das heißt, bei der Rechtsschraubung die rechte Flanke. Und andererseits können wir aus einer funktionellen Spezialisierung auf die Artspezifität des Schraubungssinnes schließen.

Das stärker beanspruchte Organ zeigt gewöhnlich auch ein morphologisches Übergewicht. Als Beispiel für derartige morphologische oder funktionelle Heteroplasien sei besonders die Heterochelie der Krebse und die Rechtshändigkeit des Menschen erwähnt.

Rechts- und Linkshändigkeit des Menschen hat nach V. Haecker mit der Heterochelie der Decapoden, speziell der poterochieren Krebse gewisse Ähnlichkeit. Wie beim Menschen nach Ausfall der rechten Hand die andere allmählich die Funktion übernehmen kann, so findet sich auch bei Knackscheren von Krebsen eine Funktionsübernahme durch das symmetrische Organ, welche mit morphologischer Umkehr verbunden ist („Scherenumkehr“).

Nach Marshall sei bei Landkrabben häufiger die linke, bei nicht schwimmenden Seekrabben die rechte Schere größer. Bei einer Hesperidenart ist die linke Geschlechtszange meist stärker entwickelt.

Beim Menschen bildet bekanntlich die Linkshändigkeit eine Ausnahme (etwa 4 %). Sie zeigt regionale Unterschiede und kann sogar an einzelnen Orten, z. B. auf Celebes, dominieren. Ferner wird sie durch beide Geschlechter übertragen und häufiger bei Männern manifest.

Da die Differenzierung erst im Laufe der ersten Lebensjahre allmählich erfolgt, tritt sie erst später hervor, nach Baldwin etwa im 6. oder 7. Lebensjahre. Eine Angabe von Delaunay, daß Primaten, Carnivoren, Ungulaten, und die meisten Vögel Rechtser seien, bedarf der Revision. Auf die morphogenetischen Erklärungsversuche (Gefäßentwicklung, Herzlagerung, Linkshirrigkeit etc.) sei hier nicht näher eingegangen.

Eine Rechtsschraubung ist jede ungezwungene Bewegung des herabhängenden rechten Armes, z. B. beim grüßenden Handreichen (H. Weber, *Encycl. d. Mathem.*). Folgt dieser Bewegungsintention der ganze Körper, so resultiert eine Rechtsdrehung des ganzen

Körpers (definitionsgemäß ist eine Bewegung des Systems in der Richtung vom aboralen zum oralen Pol anzunehmen), welche im gewöhnlichen Sprachgebrauch als „linksum“! bezeichnet wird. Die logisch richtigere Bezeichnung „Rechtsdrehung“ ergibt sich in diesem Falle auch daraus, daß eine Drehung der rechten Körperhälfte um eine durch den linken Fuß gehende Drehungsachse erfolgt.

Diese Drehung wird bei der Kehrtwendung bevorzugt. Es ist wohl nur eine Folge der Anlernung, daß beim Tanz der andere Drehungssinn beliebter ist, nämlich die Linksdrehung, welche wir aber z. B. als „Rechts“walzer zu benennen gewohnt sind.

In Zusammenhang mit der Dextromanie sind die gewöhnlichen Handwerksgegenstände (Schraube, Korkzieher) rechtsgewunden. Eine Schraubbewegung wird mit der rechten Hand gewöhnlich im Sinne der Rechtsschraubung ausgeführt.

Es wird zweifellos von mancher Seite beanstandet werden, daß die der vorliegenden Abhandlung zugrunde liegende Definition gegen Volksempfinden und Volkssprachgebrauch verstößt. Ich habe diesen Mißstand auch unangenehm empfunden und eine Abänderung der Definition durch Umkehrung der Schraubungsrichtung, welche ja mathematisch gleichberechtigt ist, ernstlich erwogen. Bei physiologischen Betrachtungen ergeben sich aber dann unüberwindbare Widersprüche, so daß also ein Festhalten an der hier gegebenen Definition zweckmäßig ist.

§ 10. Ein Überblick über die geschilderten Tatsachen legt die Vermutung nahe, daß das Schraubungsprinzip, welches bei den verschiedenartigsten Naturereignissen in unserem Planetensystem zur Geltung kommt, sich in einer einheitlichen Weise verwirklicht, wie es die häufige Übereinstimmung und Konstanz zeigt.

Eine Prävalenz der Rechtsschraubung, welche vielleicht ihren tieferen Grund in der Rechtsschraubung des ganzen Planetensystems hat, ist bei den Organismen unverkennbar.

Diese kommt auch bei morphologischen Studien der Symmetrieverhältnisse durch Störungen der bilateralen Symmetrie zugunsten der rechten Seite zum Ausdruck, wie besonders die systematischen Untersuchungen Dunkers zeigen.

Dunker bestimmte die variable Differenzreihe  $D(=V_\alpha - V_\zeta)$ , welche entsteht, wenn zwei variable bilateral-homologe Merkmale in unvollkommener Relation zueinander stehen. Vollkommene Symmetrie bestand bei einer Individuengemeinschaft hinsichtlich eines Merkmalpaars dann, wenn dessen Differenzreihe gleichförmig um Null als Mittel variiert. Als Maß der „Kollektivasymmetrie“ eines Merkmalpaars bei einer Individuengemeinschaft verwendete Dunker den „Asymmetrieindex“  $\alpha = \frac{\Sigma(f_i) \cdot \Sigma(D_i) - \Sigma(f_i) \cdot \Sigma(D_i)}{n[\Sigma(D_i) + \Sigma(D_i)]}$ , wobei  $\Sigma(D_i)$  die absolute Summe der negativen

Differenzen,  $\Sigma(f_i)$  die Summe ihrer Frequenzen ist: Dieser Index wird null bei vollkommener Symmetrie, +1 bei vollkommener „Asymmetrie“ und ein positiver oder negativer echter Bruch bei unvollkommener Symmetrie. Als Maß des individuellen Grades der „Asymmetrie“ eines bilateral-homologen Merkmalpaars gilt die

relative Differenz seiner Varianten  $\frac{V_\alpha - V_\zeta}{V_\alpha + V_\zeta}$  mit den Grenzwerten 0 und  $\pm 1$ .

Diese Berechnungen ergeben, daß fast  $\frac{1}{3}$  aller Individuen selbst bei fast vollkommener Kollektivsymmetrie des Merkmalpaares sich „asymmetrisch“ verhalten und daß ein Überwiegen der rechten Seite erkennbar ist. Es ergibt sich also wieder eine Prävalenz der Rechtsschraubung.

Für die plötzliche ontogenetische Umkehr des Windungssinnes bei Schlingpflanzen und Schnecken müssen wohl äußere besondere Faktoren verantwortlich gemacht werden.

Zur Feststellung des Zeitpunktes, wo das Schraubungsprinzip an einem morphologischen oder biologischen Merkmal des Organismus manifest wird, sind entwicklungsgeschichtliche Studien nötig, die bereits in einzelnen Fällen, wie oben erwähnt, bis zum ersten Furchungsstadium als dem „scheinbaren Gabelpunkte“ fortgeschritten sind. Diese Phänokrise ist nach V. Haecker diejenige Phase, von der aus „der äußere Entwicklungsverlauf in den beiden miteinander zu vergleichenden Reihen ein verschiedener ist“.

Hier sind wir wohl zur Grenze des Erkennbaren, aber noch nicht zum wirklichen Gabelpunkte gelangt, der vielleicht in intramolekulären Vorgängen zu suchen ist.

Und damit kommen wir in das Gebiet der Hypothesen über bekannte Erscheinungen, die wir auf besondere, innere, „konstitutionelle“ Zustände beziehen, deren eigentliches Wesen uns noch unbekannt geblieben ist.

Kerner v. Marilaun sucht bereits die Schraubungskonstanz bei Windungspflanzen durch „eigentümliche Konstitution des Protoplasmas“ zu deuten. Auch bei der oben erwähnten Beziehung des Schraubungssinnes zur gleichsinnigen Lage des Samens im Fruchtstande ist wieder gerade die betreffende Lage des Samens vielleicht von demselben konstitutionellen Momente abhängig. Aber auch die Umkehr des Drehungssinnes muß als (innere) Konstitutionsanomalie aufgefaßt werden, die durch äußere mechanische Einflüsse nicht zu erklären ist, wie es Przibram versucht. („Es scheint demnach die Rechtswindung von vornherein den Embryonen zuzukommen und nur infolge mechanischer Störungen gelegentlich in einzelnen Exemplaren umgekehrt zu werden.“)

Zur Straßens wagt sich gelegentlich seiner Askaridenstudien nur zu der Annahme vor, daß die „asymmetrische Verteilung von Anlagen“ „schon im Ei oder in dessen Kern entschieden“ ist.

E. Mach gelangt auf deduktivem Wege bei Erörterung des physiologischen Raumes zu der Annahme: „Möglicherweise liegt diese Anisotropie schon in den Elementarorganen, aus welchen sich unser Leib zusammensetzt.“

Bezüglich entwicklungsgeschichtlicher Schraubungserscheinungen wirft Haecker die Frage auf, ob hier schon eine „Asymmetrie“ der Molekularstruktur maßgebend sei. Diese molekuläre Konstitution muß dann im ganzen Zellstaate vorhanden sein.

Mag also das Schraubungsphänomen der Organismen der Ausdruck einer besonderen intramolekularen oder intrazellularen Kon-

stitution sein, so ergibt sich die Frage, auf welche Weise die heterotypen (inversen) Formen zustande kommen, deren Verwirklichung zunächst nicht durch allmähliche Variation, sondern durch plötzliche, kryptogenetische Mutation möglich erscheint (cf. § 6).

Unter Bezugnahme auf die bei flüssigen Kristallen festgestellten Tatsachen können wir auch bei Organismen analoge Verhältnisse vermuten. Es muß in der lebenden Substanz ein Medium vorhanden sein, welches gewissermaßen der materielle Träger des Schraubungsphänomens ist, eine Substanz, deren vielleicht selbst schraubenförmige Moleküle sich in Schraubenform aneinanderfügen und das formbestimmende Gerüst der lebenden Materie darstellen. Dieses Medium möge Strophoplast heißen. Die Verwirklichung (Aktivierung) der Schraubenformung erfolge durch strophogene Komplemente, welche auf den Strophoplasten wirken. Es mögen ein die Rechtsschraubung des Strophoplasten bestimmendes Rechtskomplement und ein entsprechendes Linkskomplement in der lebenden Materie in der Konstellation vorhanden sein, daß das Rechtskomplement überwiegt und daher den strophogenen Ausschlag gibt; das organische lebende System gestaltet sich dann in R.-Schraubungssinn. Die hier beschriebene Zusammensetzung bestimme die normale Konstitution des Systems, in komplizierterer Weise des ganzen Organismus. Nun kann die Menge der strophogenen Komplemente variieren und bei verschiedenen Varianten einer Spezies z. B. das Linkskomplement eine relative Zunahme erfahren. Es kann dann schließlich der kritische Punkt erreicht werden, an dem das Linkskomplement das Übergewicht über das Rechtskomplement hat, so daß die Krise durch Inversion des Schraubungssinnes, durch Entstehen von Heterotypen in Erscheinung tritt. In diesem Sinne können also die Heterotypen als Varianten einer Spezies aufgefaßt werden, während ohne die hier gegebene morphogenetische Theorie die Heterotypenbildung sich nicht als Variation deuten ließ. Es ergibt sich die weitere interessante Kombination, daß bei einer in der Nähe des kritischen Punktes liegenden chemischen Konstellation nur eine geringe quantitative Änderung eines Faktors genügt, um eine wesentliche Änderung der Konstitution zu bedingen.

So bestechend diese Theorie zunächst erscheint, vermag sie doch nicht die heterotypen Kombinationen bei bilateral-symmetrischen Formen (also L.- und R.-Form bei demselben Individuum) zu erklären. Es sind wohl hier außerdem rein physikalische Kräfte, z. B. Spannungen, als örtliche Faktoren wirksam; so können ja auch entsprechende (cf. § 4) symmetrische Erscheinungen bei flüssigen Kristallen gefunden werden.

Je einfacher die Fragestellung, desto eher können wir eine Lösung erwarten. Wir bleiben aber bei der Untersuchung dieses scheinbar einfachen Phänomens vor vielen Rätseln stehen, deren Dunkel sich vielleicht allmählich lichten wird.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1919

Band/Volume: [39](#)

Autor(en)/Author(s): Günther Hans

Artikel/Article: [Das Schraubungsprinzip in der Natur. 513-526](#)