



# **DIE FORMEN DER NATUR**

**Faszinierende Muster  
und wie sie entstanden**

**DAVID MAITLAND**

**at**VERLAG

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>Einführung</b>               | 6   |
| <b>Weiterführende Literatur</b> | 282 |
| <b>Register</b>                 | 284 |
| <b>Dank</b>                     | 288 |

|                                  |                                    |                                     |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>1</b><br><b>FORM</b><br>11    | <b>2</b><br><b>SYMMETRIE</b><br>47 | <b>3</b><br><b>SPIRALEN</b><br>81   |
| <b>4</b><br><b>GRÖSSE</b><br>111 | <b>5</b><br><b>RAUM</b><br>139     | <b>6</b><br><b>FLUSS</b><br>173     |
| <b>7</b><br><b>FARBE</b><br>203  | <b>8</b><br><b>SKELETTE</b><br>229 | <b>9</b><br><b>SCHÖNHEIT</b><br>257 |

# Einführung

Ich hatte das Glück, in St. Andrews, einer wunderschönen Stadt an der Ostküste Schottlands aufzuwachsen. Schon als Kind war eine meiner größten Leidenschaften, ausgiebige Streifzüge dem Strand entlang zu machen und mich durch unzählige Haufen »toten« Materials zu wühlen – Überbleibsel dessen, was das Meer an Land geworfen hatte: Knäuel aus Seetang, unbekanntes Meeresgetier und leblose Kreaturen aller Art. Tierschädel, Knochen und ähnlich morbide Objekte zogen mich magisch an. Ich war wie verzaubert von der Schönheit dieser makabren Dinge – nun ja, sie waren vielleicht nicht unbedingt makaber, aber auf jeden Fall ungewöhnlich. Der Beckenknochen eines Vogels, der aussah wie ein Tierschädel, das Skelett einer Scholle, ein mumifizierter Babyhai, ein Seestern, ein Meerjungfrauenbeutel, rätselhafter Schaum, der sich als schwammiger Klumpen leerer Schneckeneier herausstellte, Muscheln, Federn und gruselige Seekartoffeln.

Mein Zimmer hatte sich schon bald in ein Museum verwandelt. Jeden Tag nahm ich die faszinierenden Gegenstände, die ich gesammelt hatte, in die Hand und bewunderte ihre einzigartige Komplexität – den perfekten kleinen Kreis aus vierzehn winzigen Knochen in der Augenhöhle eines Seevogels, die sternförmigen kleinen Löcher in der Oberfläche einer Seekartoffel oder die wunderschönen Muster meiner Federsammlung. Nach und nach wurde mein Museum immer größer, und es kamen Schmetterlinge und Falter hinzu, Tierhäute, Fossilien und tierische Bauwerke wie Vogel- oder Wespennester. All diese Dinge waren in meinen jungen Augen von erlesener Schönheit. Erst im Laufe meiner akademischen Karriere wurde mir bewusst, dass ich wie eine Elster zwanghaft »glänzende« Dinge hortete. Nur dass meine Objekte der Begierde andere Gemeinsamkeiten aufwiesen als die der Elster, Gemeinsamkeiten, die einem erst auffielen, wenn man die Dinge zusammen und unter Gesichtspunkten wie Form, Musterung und Farbgebung betrachtete.

Das Wespennest landete ursprünglich nur deshalb in meiner Sammlung, weil ich irgendwo gelesen hatte, Wespenlarven seien die optimalen Köder, um Forellen zu angeln. Aber als ich das Nest dann aufschnitt, war ich fasziniert von der fast unnatürlichen Präzision der sechseckigen Zellen, in denen die Larven steckten, die den Waben von Bienen sehr ähnlich sahen. Die Wespen hatten ihr Nest jedoch nicht aus Wachs gebaut, sondern aus zerkautem Holz. Die Geschichte jedes einzelnen Baums und jedes Zaunpfostens, den die Wespen besucht hatten, war wie auf Papier festgehalten, niedergeschrieben in einem komplexen Streifenmuster aus unterschiedlichem Holz. Aber warum waren die Zellen sechseckig und nicht einfach rund?

## Wespenteppich

Dieser wunderschön gefärbte Teppich ist Teil des Nests der Gemeinen Wespe, *Vespula vulgaris*. Für jeden Farbstreifen hat eine weibliche Arbeiterwespe Holz zerkaut und wieder ausgespuckt, jeweils von einer anderen Baumart oder unterschiedlich verwitterten oder gestrichenen hölzernen Oberflächen.





#### Seerosenspiralen

Querschnitt durch das aufblühende Blatt einer Gelben Teichrose (*Nuphar lutea*). Auffällig ist hier die symmetrisch gespiegelte Doppelspirale – links rechtsgängig und rechts linksgängig –, die einen sofort an ein Gesicht denken lässt. Das spiralförmige Wachstumsmuster vermittelt einen guten Eindruck davon, wie es Pflanzen gelingt, lange, flache Objekte (wie ein Blatt) auf sehr engem Raum (in einer Knospe) zu verstauen.

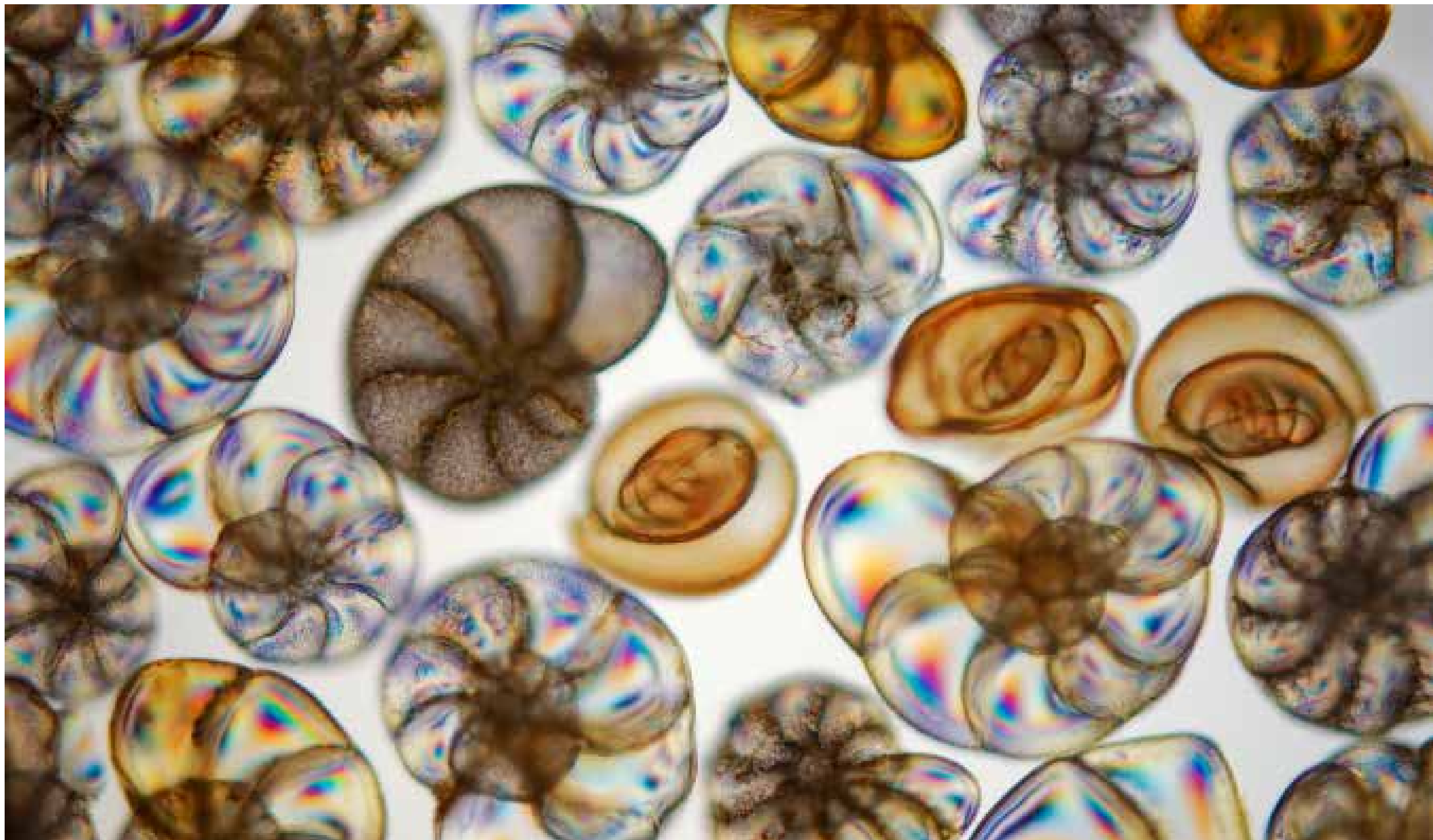
Als ich anfang, mich auch mit dieser Frage näher zu befassen, fiel mir auf, dass die Augen von Schmetterlingen, Faltern und Käfern nicht nur eine Linse hatten, sondern aus Hunderten winzigen Linsen zusammengesetzt waren, die ebenfalls die Form von Honigwaben hatten. Wieder Sechsecke, warum?

In meinem Museum gab es auch versteinerte Ammoniten, Muscheln und den Schädel eines Schafbocks. Und auch sie wiesen unübersehbar eine gemeinsame geometrische Figur auf – die Spirale. Man findet diese Form überall, in der Anordnung der Samen in der Blüte einer Sonnenblume, in der Oberflächenmusterung einer Ananas oder eines Tannenzapfens, im Webmuster von Spinnennetzen, und sogar außerhalb unseres Planeten in den Spiralgalaxien im All. Andere Muscheln in meiner Sammlung hatten Streifen, die an die gerippten Vertiefungen erinnerten, die die Wellen in den Strand graben, oder an das schwarz-weiße Tarnmuster von Zebras oder an die geriffelten Formationen von Alto-kumulus-Wolken.

Diese Ähnlichkeiten in Muster und Form treten in scheinbar völlig unterschiedlichen Umgebungen und Kontexten auf, was sie umso bemerkenswerter macht. Man entdeckt sie sowohl in der organischen als auch in der anorganischen Welt und sogar im Kosmos, was darauf schließen lässt, dass ihre Entstehung wahrscheinlich nicht allein der Genetik und den Prozessen der biologischen Evolution zuzuschreiben ist. Aber welche Kräfte wirken noch auf die Erscheinungsformen des Lebens?

Dieses Buch, *Die Formen der Natur*, nimmt Sie mit auf eine visuelle Reise durch die zahllosen Strukturen, Formen und Muster der Natur; es will aufzeigen, wie einfache Prinzipien der Geometrie dazu beitragen können, Antworten zu finden auf die Frage, wie und warum die verschiedensten Dinge wiederkehrende Formen und Symmetrien aufweisen. Ich habe meine persönliche Entdeckungsreise, die als Kind an einem schottischen Strand begann, fortgesetzt, und diese faszinierenden Ähnlichkeiten über viele Jahre in meinen Fotografien festgehalten und herausgearbeitet.

Trotz der alten Redensart, dass »keine Schneeflocke der anderen gleicht«, kann man mit Sicherheit sagen, dass niemand jemals eine fünfzackige Schneeflocke zu Gesicht bekommen wird. In der Geometrie gibt es zwar fünf reguläre Polyeder, dennoch sind Kristalle nicht in der Lage, eine pentagonale Symmetrie zu bilden. Auch die Größe spielt für die Form der Dinge eine Rolle und bringt entscheidende Einschränkungen mit sich. Man kann keinen Floh in der Größe eines Elefanten bauen. Und selbst wenn doch, wäre dieser nicht in der Lage, über das Empire State Building zu springen. Es existieren universelle physikalische Kräfte (ich nenne sie die »Kräfte der Natur«), die auf die vielen Wunder unserer Welt und des Universums einwirken. Indem wir die visuellen Formen, die diese Kräfte erschaffen, zusammentragen und ihre verbindende Geometrie unter der Prämisse, dass die Form der Funktion folgt, quantifizieren, können wir einige der Rätsel hinter den Wundern der Schöpfung lösen – und dabei eine Sprache finden, die in der Lage ist, das zu beschreiben und zusammenzubringen, was Charles Darwin als »der Natur endlose Formen von unübertroffener Schönheit« bezeichnete.



# SCHAU MIR IN DIE AUGEN, KLEINES

Zebraspringspinne (*Salticus scenicus*)

Die Zebraspringspinne sieht man in Großbritannien häufig Gartenmauern entlang flitzen, durchs Gebüsch hüpfen oder begegnet ihr sogar im Haus. Springspinnen weben keine Netze, sondern jagen bei Tageslicht arglosen Insekten hinterher. Sie sind die Löwen ihrer kleinen Welt und mit dem besten Sehvermögen aller an Land lebenden wirbellosen Tiere ausgestattet. Man muss sich diese beeindruckenden Augen nur ansehen!

Es fällt schwer, von der perfekten Bilateralsymmetrie dieser Spinnen nicht fasziniert zu sein. Ähnlich einer Kamera besitzen sie acht Augen à vier Paare. Die kleinen Augen an den Seiten erfassen Bewegungen, während die nach vorn gerichteten Hauptaugen wichtig für die Jagd sind.

Die Linsen der Augen, deren Größe für eine verbesserte Bildauflösung sorgt, sind unbeweglich und fokussieren das Bild auf der Netzhaut. Sobald ein Objekt von Interesse eingefangen wird, geschieht im Auge etwas Bemerkenswertes, denn anders als beim Menschen, dessen Netzhaut unbeweglich ist, kann die Zebraspringspinne die Netzhaut schnell hin- und herbewegen und das Netzhautbild scannen – was ihr hilft, Beute von potenziellen Paarungspartnern zu unterscheiden.

Viele Jahre lang glaubte man, die großen, nach vorn gerichteten Augen dienten wie bei jagenden Wirbeltieren dazu, das binokulare Sichtfeld oder räumliche Sehen zu verbessern. Das ist jedoch nicht der Fall. 2012 fand man heraus, dass Springspinnen Entfernungen auf eine völlig andere Art einschätzen, nämlich indem sie unscharfe Bilder innerhalb eines Auges abgleichen. Das ist möglich, weil die Netzhaut aus vier Schichten von Fotorezeptoren besteht. Die Spinne stellt fest, wie stark das Bild einer Schicht vom Bild einer anderen im selben Auge abweicht.

Ich liebe es, diese Tiere zu beobachten, weil Springspinnen sich tatsächlich umdrehen und einen direkt ansehen. Bewegt man sich, folgen sie der Bewegung. Sie nehmen einen ganz offensichtlich wahr und stellen Kontakt her. Strecken Sie, wenn Sie das nächste Mal eine Springspinne sehen, die Hand aus und bewegen Sie sie langsam hin und her. Wahrscheinlich wird die kleine Spinne sich umdrehen und Ihrer Hand folgen. Vielleicht springt sie sogar darauf. Keine Angst, sie beißt nicht! Genießen Sie einfach die Begegnung.

## NÄCHSTE DOPPELSEITE Schopfaffe (*Macaca nigra*)

Die leuchtend orangefarbenen Augen dieses jungen Schopffaffen (*Macaca nigra*) schauen direkt in meine Kamera. Sein Gesicht zeigt eine fast perfekte Bilateralsymmetrie. Wie Menschen haben Schopffaffen ein exzellentes binokulares Sichtfeld. Ihr Augenpaar ermöglicht ihnen Tiefenwahrnehmung (räumliches Sehen) und das korrekte Einschätzen von Entfernungen – für das Springen von Ast zu Ast unverzichtbar.



# RANKE

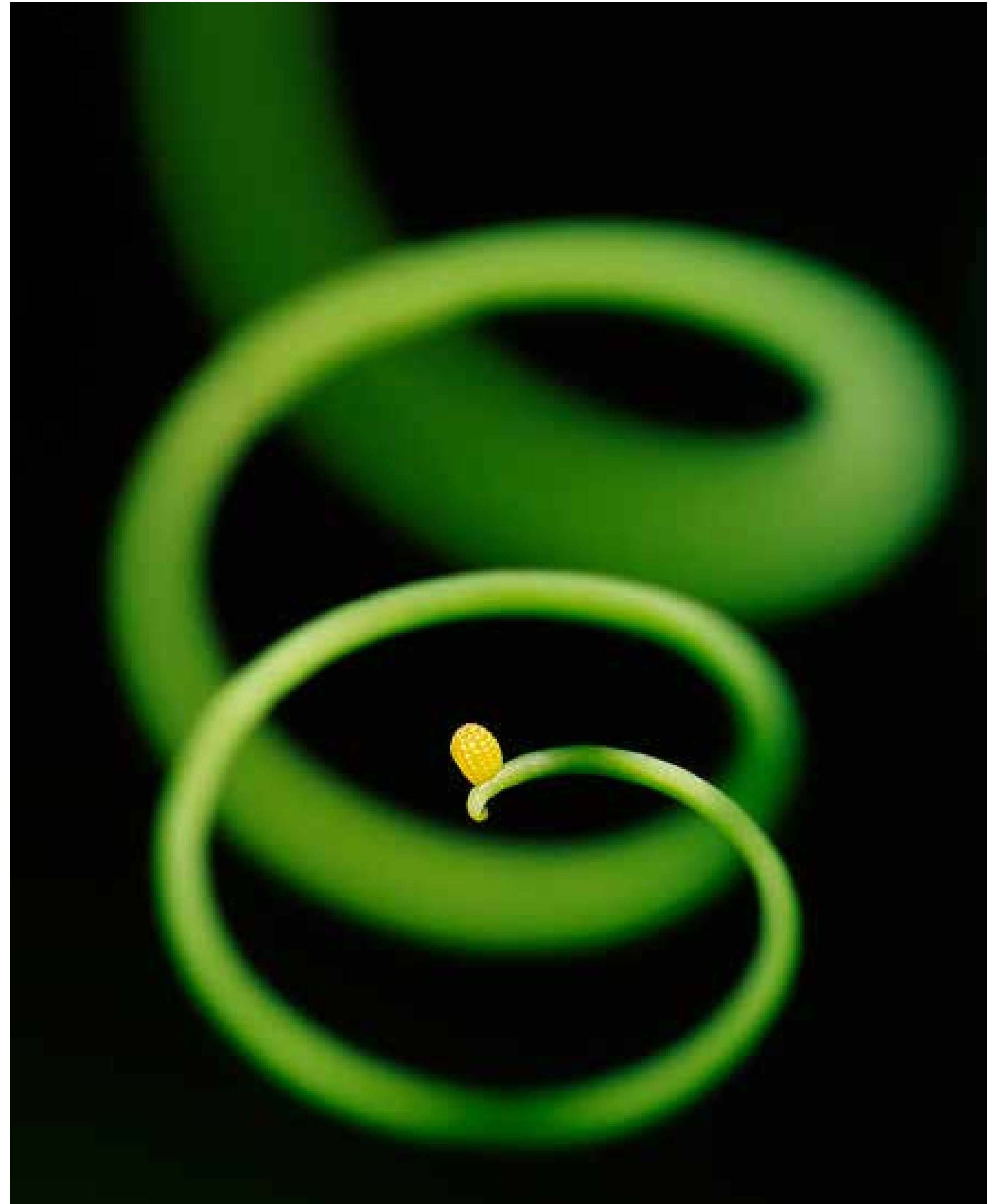
Passionsblume (*Passiflora pittieri*) und Passionsblumenfalter (*Heliconius* sp.)

Passionsblumen (*Passiflora pittieri*) sind Kletterpflanzen. Auf der Suche nach Halt recken sie ihre Ranken in die Luft, auf deren Spitze dann der Passionsblumenfalter (*Heliconius* sp.) sein Ei ablegt. Doch warum windet sich die Ranke in einer perfekten rechtsgängigen Helix? Und warum legt der Schmetterling nur ein einziges Ei auf ihr ab?

Um ans Licht zu gelangen, brauchen Passionsblumen eine vertikale Struktur, an der sie hinaufklettern können. Dazu suchen die jungen Ranken, die zu Beginn noch gerade sind, ihr Umfeld ab, wobei die Rankenspitze immer größere Kreisbewegungen vollführt. Man spricht von »Circumnutation«. Wächst die Ranke und wird länger, entstehen durch ein asymmetrisches Zellwachstum und Verhärtungen die auf dem Foto zu sehenden Windungen, die die Pflanze auf einen Kontakt vorbereiten. Ist es so weit, schlingt sich die Spitze um den gefundenen Ankerpunkt, und die lockeren Windungen verengen sich zu einer federähnlichen Helix, mit der sich die Ranke enger an ihre Stütze zieht. Pflanzenranken können sowohl rechts- als auch linksgängig sein, die Helices enden jedoch immer am selben Punkt.

Passionsblumenfalter und Passionsblumen bilden eine enge Gemeinschaft. Um Pflanzenfresser abzuwehren, produzieren Passionsblumen giftige cyanogene Glykoside. Die Larven des Passionsblumenfalters jedoch sind dagegen immun und lagern diese ein, um sich ihrerseits gegen Fressfeinde zu schützen. Diese Strategie ist so erfolgreich, dass andere, nicht giftige Schmetterlinge, die mit Passionsblumenaltern den Lebensraum teilen, deren Warnfarben auf den Flügeln kopieren, ein Phänomen, das sich Müllersche Mimikry nennt.

Die Passionsblume hat daher andere Möglichkeiten entwickelt, den Falter davon abzuhalten, seine Eier auf ihr abzulegen. So besitzt sie tödliche, hakenförmige Pflanzenhärchen an den Blättern (Trichome), die den Raupen die Haut aufreißen können. Zudem bildet sie Auswüchse, die so aussehen wie Schmetterlings-eier. Da Passionsblumenfalter ihre Eier so weit voneinander entfernt wie möglich ablegen, damit ihre kannibalischen Larven sich nicht gegenseitig fressen, hält sie das ebenfalls von der Eiablage ab. Und schließlich verfügt die Pflanze noch über extraflorale Nektarien, welche eine Zuckerlösung produzieren, die spezielle Ameisen anlockt. Diese patrouillieren auf der Pflanze und schützen sie, indem sie Eier, Larven und andere Störenfriede fressen. Man hat jedoch festgestellt, dass sich die Ameisen ihre Beute eher selten auf den Rankenspitzen holen.





# ADERN

Blattadern vom Buchsbaum (*Buxus sempervirens*)

Was man hier sieht, ist das dritte Beispiel eines baumähnlichen Leitsystems – die Blattnervatur eines Buchsbaums (*Buxus sempervirens*).

Vergleicht man sie mit den verzweigten »Adern« einer Alge (siehe Seite 24) oder dem Atmungsorgan eines Insekts (siehe Seite 188), fällt auf, wie ähnlich sie sich in der Form sind. Drei evolutionär völlig getrennte Gruppen – Protisten, Pflanzen und Tiere – scheinen unabhängig voneinander dieselbe Struktur entwickelt zu haben (Konvergenz), wahrscheinlich, weil diese auf die ökologischste und effektivste Art Flüssigkeit verteilt.

Es gibt ein paar einfache Regeln, die bei der Entwicklung eines Systems für den Transport von Flüssigkeiten beachtet werden sollten. Die als »Murrays Gesetz« bekannten Regeln wurden zuerst 1914 von Rudolf Hess niedergeschrieben und dann 1926 ein zweites Mal von Cecil D. Murray. Einfach ausgedrückt besagt dieses Gesetz, dass beim Transport von Flüssigkeit zwei Arten von »Kosten« zu berücksichtigen sind. Zum einen die Kosten für die Herstellung der Leitungen und deren Inhalt (also beispielsweise von Blut und Blutadern) und zum anderen die Kosten für die notwendige Energie, um die Flüssigkeit durch das System weiterzuleiten. Diese Kosten ergeben sich aus der Anzahl der Zweige des Systems und deren Gesamtquerschnitt an jedem beliebigen Punkt im System.

Um den ersten Kostenpunkt zu minimieren, muss laut Murrays Gesetz das Volumen der Röhren verkleinert werden (sie sollten also möglichst eng und kurz sein). Je kleiner der Durchmesser der Röhren, desto mühsamer wird jedoch der Transport. Um die Energiekosten niedrig zu halten, sollten die Röhren also eher so breit wie möglich sein – ein eindeutiger Widerspruch. Es muss ein Kompromiss gefunden werden: das optimale Verhältnis, wenn man so will, von Gesamtlänge und Gesamtdurchmesser des Leitungssystems.

Und das unter der Voraussetzung, dass ein kontinuierlicher Fluss gewährleistet ist, da wir es mit Flüssigkeiten zu tun haben: »Was hineinfließt, muss auch wieder hinaus.« Die Lösung hierfür lautet, dass die Summe der dritten Potenzen der Gefäßradien auf jeder Ebene des sich verzweigenden Systems von Anfang bis Ende gleich sein muss.

Alle für den Transport von Flüssigkeiten entwickelten Systeme in der Natur sehen also deshalb gleich aus, weil sie den Regeln von Murrays Gesetz folgen. Natürlich hat die Evolution keine Ahnung von Cecil D. Murray und dessen Gesetz, aber durch natürliche Selektion hat sie auch so die sparsamste Lösung gefunden.

**NÄCHSTE DOPPELSEITE**  
**Ästiger Stachelbart (*Hericum coralloides*)**  
Der Ästige Stachelbart wächst auf Totholz, meist dem der Weißbirke (*Betula pendula*), und entwickelt einen weit verzweigten, oberirdischen Fruchtkörper mit hängenden Stacheln entlang der Unterseiten der Äste. Diese sondern Sporen ab, die der Wind, der sich frei durch das Geäst bewegen kann, davonträgt. *Hericum* sind sehr beliebte Speisepilze mit einer positiven Wirkung auf die Verdauung.

# SCHMERZ

Schöterich (*Erysimum* sp.)

Landpflanzen sind (sobald sie Wurzeln geschlagen haben) an einen festen Ort gebunden und damit extremen Umwelteinflüssen ausgeliefert. Ihre Blätter sind dabei für Schäden durch Wind, starke Sonneneinstrahlung sowie durch Krankheiten und Fressfeinde besonders anfällig, weshalb viele Pflanzen ihre photosynthetisch aktiven Oberflächen mit haarähnlichen Strukturen, sogenannten Trichomen, schützen.

Die hier abgebildeten Trichome überziehen die Blätter eines Schöterichs (*Erysimum* sp.). Die flammenähnlichen, zweistrahlig (mittig fixierten) Härchen sind Auswüchse der Pflanzenepidermis und »schweben« auf einem schlanken Stiel über der Blattoberfläche. Auf diese Weise entsteht eine dünne, isolierende Schicht aus unbewegter Luft (Grenzschicht), die dazu beiträgt, den Wasserverlust durch Transpiration möglichst gering zu halten.

Form, Morphologie und Funktion der Trichome variieren. Besonders häufig sind Sternformen, aber auch Haken und Schuppen. Trichome können einzellig oder vielzellig sein, verzweigt oder unverzweigt, drüsig oder nicht drüsig. Drüsigen Trichomen begegnen wir in Europa am häufigsten im Kontakt mit einer Brennnessel (*Urtica dioica*). Jedes Trichom ist wie eine winzige Spritze mit einer hohlen Nadel aus Siliziumdioxid ausgestattet, die uns ein bisschen Gift (Histamin) injiziert.

Während meiner Reisen wurde ich schon von zahlreichen Pflanzen und Tieren gebissen oder gestochen, und kann Ihnen versichern, dass die Bisse nicht-giftiger Schlangen, einmal abgesehen vom Schreck, harmlos sind. Bei Wespenstichen reicht die Bandbreite von »nicht der Rede wert« bis zu »wahnsinnig schmerzhaft« (tropische Papierwespen sind die schlimmsten). Riesenameisen (*Paraponera clavata*) können mit den Papierwespen gut mithalten, aber die Schmerzen, die mir ein Feuerwurm (*Hermodice carunculata*), ein Vielborster, den ich beim Schnorcheln in Tobago idiotischerweise angefasst habe, beigebracht hat, waren eine Liga für sich. Ich hatte wirklich das Gefühl, mein Herz hört auf zu schlagen. Dieser Wurm hat mich in Todespanik versetzt.

Aber meine mit Abstand schlimmste, intensivste und lang anhaltendste Schmerzerfahrung verdanke ich dem Kontakt mit einer Pflanze. Als ich bei der Arbeit auf Borneo einmal das Blatt einer Australischen Brennnessel (*Dendrocnide moroides*) streifte, verpassten mir die Trichome auf deren Blättern einen unglaublich fiesen Cocktail aus Giften, die bis heute noch nicht bestimmt sind. Die Schmerzen hielten tagelang an; und weil die durchtriebene Pflanze die abgebrochenen Spitzen der Trichome in meiner Haut hat stecken lassen, flammten sie bei jedem Druck auf die betroffene Stelle wieder auf – es war, als ob mir bei jeder Berührung vergiftete Glassplitter unter die Haut gejagt würden!

## NÄCHSTE DOPPELSEITE Trichome

Viele Pflanzen schützen ihre photosynthetisch aktiven Blattoberflächen mit haarähnlichen Strukturen, den sogenannten Trichomen. Die wie Speerspitzen aussehenden Trichome des Schöterichs (*Erysimum* sp.) schützen ihn vor zu starker Verdunstung. Pflanzen wie der Brennnessel (*Urtica dioica*) dienen die Trichome hingegen zur Verteidigung. Über eine komplexe Drüsenstruktur können sie Gift injizieren, das für ein teils lang anhaltendes, schmerzhaftes Brennen sorgt.

