



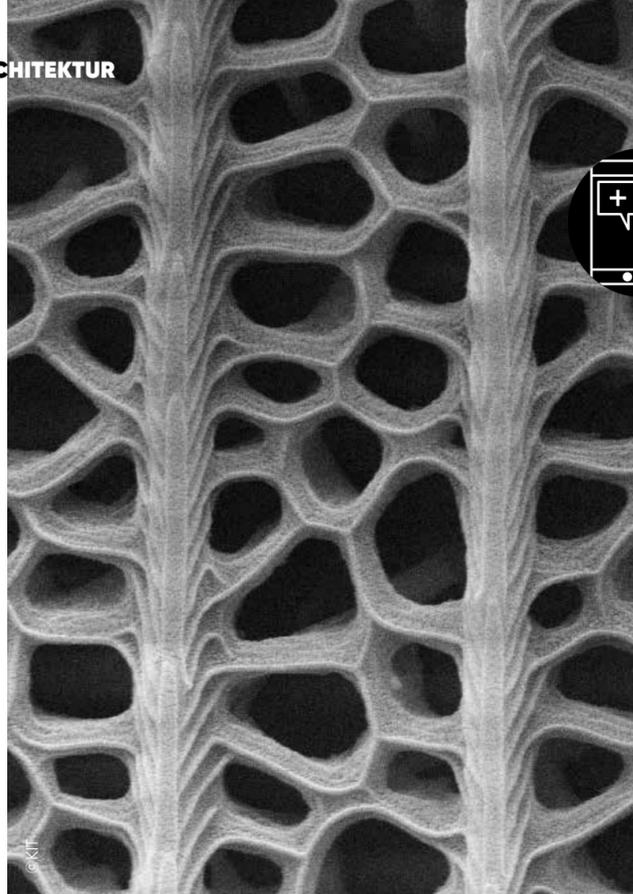
Ein Schmetterling mit durchsichtigen Flügeln – ein Wesen aus einer anderen Welt? Wer diesem Tier noch nie begegnet ist, glaubt vielleicht, das Bild sei ein Kunstwerk. Doch den Glasflügel Falter gibt es wirklich, er lebt in Mittel- und Südamerika. Naturgemäß hat die ungewöhnliche (Nicht-) Färbung der Flügel die Neugier von Biologie und Physik geweckt. Je nach Sonneneinstrahlung werfen die Flügel nur zwei bis fünf Prozent des Lichts zurück, Fensterscheiben hingegen mindestens acht. Außerdem reinigen sich die Glasflügel offenbar selbst. Die Beobachtung solcher und vergleichbarer Phänomene steht am Beginn von Forschungen zur Biomimikry – einem Gebiet, das Design, Architektur, Technik, Biologie und Medizin miteinander verbindet. Schmetterlinge kommen in dem Bereich öfter vor, weil sie unglaublich adaptionsfähige Wesen sind. Sie könnten Wappentier für Biomimikry sein – auch wegen ihrer erstaunlichen Verwandlungsfähigkeit.

Worte **Susanne Karr**

Nanostrukturen der Flügel des Schmetterlings „Gewöhnliche Rose“ (*Pachliopta aristolochiae*) mit kleinsten Löchern absorbieren Licht deutlich besser als glatte Oberflächen. Auf Solarzellen übertragen, wird die Lichtabsorptionsrate so um bis zu 200 Prozent gesteigert (o).

Unregelmäßige Nanostrukturen auf der Oberfläche der Schmetterlingsflügel verhindern fast völlig, dass der Falter einfallende Sonnenstrahlung reflektiert – je nach Blickwinkel wirft er nur zwei bis fünf Prozent des Lichts zurück, bei durchsichtigen Fensterscheiben sind es dagegen je nach Winkel acht bis hundert Prozent (r).

Supertrees in den Gardens by the Bay in Singapur sind vertikale Gärten mit einer Höhe von 25 bis 50 Metern (bis zu 9 bis 16 Stockwerken) mit tropisch blühenden Kletterpflanzen, Epiphyten und Farnen. Einige der künstlichen Bäume verfügen über Photovoltaikzellen, um Sonnenenergie für die Beleuchtung der Supertrees bei Nacht zu gewinnen (u).



© Zappellin, CC-Lizenz (BY 2.0)

Die Idee, sich von der Natur inspirieren zu lassen, ist so alt wie die Tätigkeit des Gestaltens selbst. Vorbilder aus der lebendigen Welt finden sich überall. Unter den oft verwirrend austauschbar verwendeten Begriffen Biomimikry oder Biomimese lassen sich Gestaltungsprozesse zusammenfassen, in denen das Abschauen, Kopieren und Nachempfinden von natürlichen funktionalen und ästhetischen Elementen wesentliche Faktoren sind. Präziser bezeichnet handelt es sich oft um Bio-Inspiration, Biotechnologie oder Bionik. Zahlreiche Forschungsinstitute weltweit befassen sich mit diesem Themenfeld, in Wien etwa die TU, das Naturhistorische Museum oder die Universität für Bodenkultur. Ausgangspunkt für den Forschungsansatz ist die Überzeugung, dass natürliche Prozesse in langen Erprobungszeiträumen immer weiter optimiert wurden. Deswegen lassen sie sich perfekt als Inspirationsquelle für eine Übertragung in menschliche Bereiche verwenden.

Gerade zu einem Zeitpunkt, an dem die verbleibende Überlebensdauer der Spezies Mensch von Klimakrise und Artensterben bedroht ist, liegt es nahe, sich die Frage zu stellen, wie man sich an das Leben auf diesem Planeten besser anpassen kann. Darauf gibt es keine besseren Antworten als solche, die uns andere Organismen vorführen. Die meisten Erfahrungen haben diejenigen, die seit Jahrmillionen auf der Erde leben, sagt Janine Benyus, die Gründerin des Biomimicry Institute in Missoula, Massachusetts.

Es geht um eine Methode, Materialien und Konstruktionsweisen an natürlichen Prozessen zu orientieren. Das Ziel sind elegante Lösungen mit wenig Beeinträchtigung der Umwelt. Spektakuläre Ergebnisse lauten dann wie folgt: Schmetterlingsflügel inspiriert Photovoltaik: Absorption lässt sich um bis zu 200 Prozent steigern, wie BIO-KON – die Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz in Berlin – letztes Jahr titelte. Nach dem Vorbild eines pechschwarzen Schmetterlings mit dem irreführenden Namen „Gewöhnliche Rose“ (*Pachliopta aristolochiae*) wurden am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Oberflächen von Solarzellen gestaltet. Die Flügel des Falters weisen Nanostrukturen mit unregelmäßig

angeordneten, kleinen Löchern mit unterschiedlichen Durchmessern auf, die das Licht „verschlucken“ – das Erfolgsgeheimnis für eine deutliche Steigerung der Lichtabsorptionsrate. Die Wärmeabfuhr für den Schmetterling wird so optimiert.

Ein kleiner Exkurs zum Hintergrund dieser Faszination: Schon das Zusammenführen unterschiedlicher Wissensgebiete wie Biologie und Technik verweist auf eine Charakteristik des Ansatzes von Biomimikry, näm-

„Die Natur ist ein brillanter Ingenieur und Baumeister. Sie weiß, wie man Muscheln herstellt, die doppelt so stark sind wie die widerstandsfähigste Keramik, die Menschen herstellen können, und sie produziert Seidenfasern, die fünfmal stärker sind als Stahl. Die Natur versteht es auch, Formen zu erfinden, die mehreren Zwecken dienen.“

Neri Oxman, amerikanisch-israelische Designerin

lich die Kombination von lange getrennt gedachten Disziplinen. Im Konzept Transdisziplinarität versteht man Wissensgebiete als einander ergänzende und miteinander zusammenhängende Ressourcen, nicht als konkurrierende Disziplinen. Erkenntnis und Eingeständnis, dass man nie über das Gesamtwissen verfügen kann, bringen eine gewisse Bescheidenheit mit sich, die für die Position des Lernenden angebracht ist, weil sie den Geist öffnet. Man lässt sich gerne etwas beibringen und sieht sich der Natur gegenüber eher als Schüler denn als übergeordneter Befehlsgeber. Letztere Einstellung hat in den vergangenen Jahrhunderten das Fundament für die desaströse Dynamik schonungsloser Ressourcenausbeutung geführt, in deren Folge Klimakrise und Artensterben sich zeigen. Sie steht in der Tradition eines von Francis Bacon und in der Folge René Descartes geprägten Naturwissenschaftsbegriffes, in dem der Mensch der Natur wie ein Inquisitor Wissen abzwängt. Der Einsatz von Gewalt ist dabei durchaus vorgesehen und wird durch den Zweck der Erkenntnis geheiligt. Francis Bacon schreibt wörtlich, es sei gerechtfertigt und sogar not-

wendig, die Natur zu foltern und sie zum Zeugnis zu zwingen. Bei Descartes kommt die Herrschaftsgeste in ganzer Wucht zum Ausdruck: Forschung sei dazu da, „uns“ zu Herrn und Eigentümern der Natur zu machen. Die Autorität dieser Position wird nicht hinterfragt, denn die Forschungstätigkeit geht ohnehin vom – vermeintlich – höchsten Wesen (neben Gott) aus: dem weißen Menschen. Übrigens findet sich in der Ahnengalerie dieser Überzeugung auch Kant, der oft als Pfeiler der Moralphilosophie genannt wird. Sein kategorischer Imperativ bezieht sich ganz offensichtlich nicht auf Forschungsobjekte aus der Natur, die man aus seiner Sicht nötigen muss, ihre Gesetze preiszugeben.

Aber zurück zur Biomimikry. Sie entsteht in einem Weltbild, in dem Menschen nicht die einzige Bezugsgröße sind – mit all der Ein-

„Der Mensch ist es gewohnt, Dinge zu entwickeln, um ein Ziel zu maximieren, während sich die Ökosysteme zu einem optimierten Gesamtsystem entwickelt haben.“

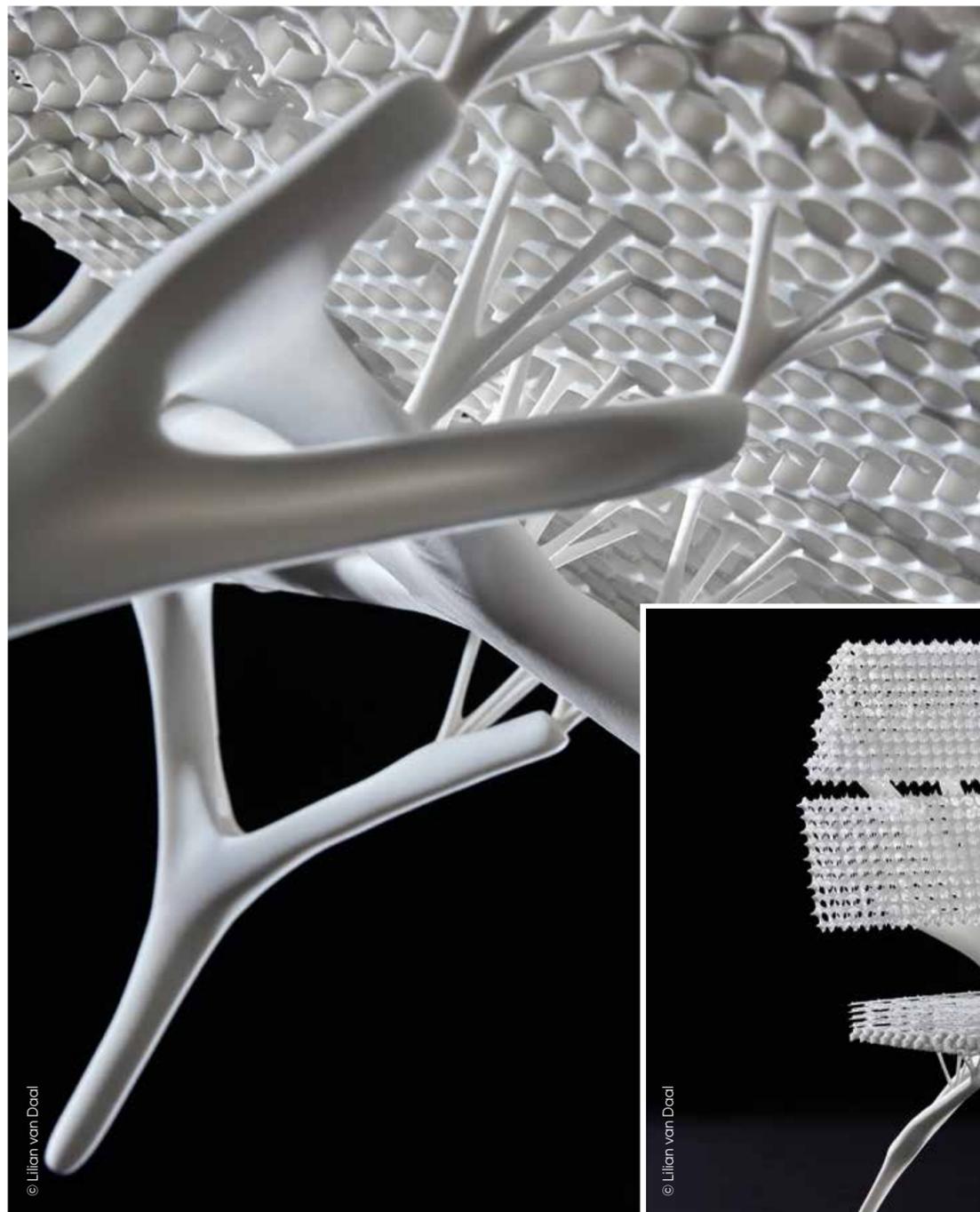
Michael Pawlyn, britischer Architekt

samkeit, die eine solche Stellung als höchstes Wesen auf der Erde mit sich bringt. Vielmehr dürfen sie sich als Mitglieder einer Vielheit verstehen, als eine besondere Lebensform unter zahllosen anderen besonderen Lebensformen. Beobachtung und Zusammenleben führen zu Erkenntnissen, die dem menschlichen Leben nützen können, aber gleichzeitig den anderen nicht schaden. Das wäre die Idealformulierung. Man nähert sich der Natur in einer neugierigen Haltung, aber mit einer gewissen Demut, in der sich ein realistischeres Größenverhältnis von Mensch zu Umwelt abzeichnet. Das menschlich erworbene Wissen wird dann mit den Beobachtungen und Erkenntnissen natürlicher Entwicklungen in Verbindung gebracht.

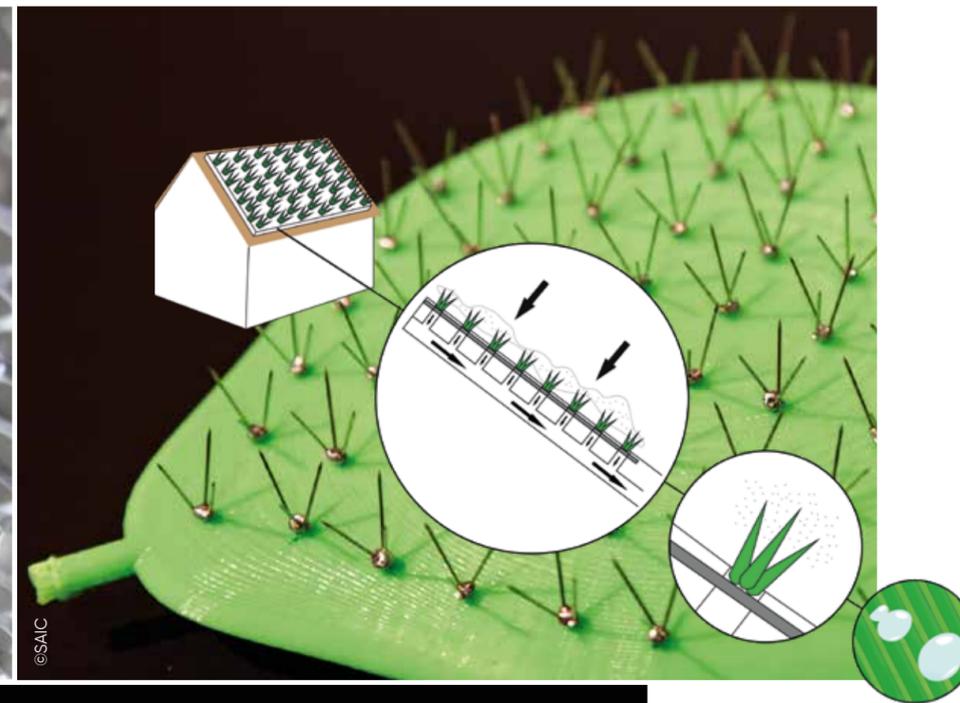
Gerade im Designbereich tun sich spektakuläre Möglichkeiten auf. Vom äußeren Erscheinungsbild angefangen. Natürliche Inspirationen führen oft zu extravaganter

Ästhetik. Die junge niederländische Designerin Lilian van Daal arbeitet seit einigen Jahren an innovativen Fertigungstechniken für Polster- und Sitzmöbel. Sie orientiert sich dabei am Aufbau natürlicher Strukturen. Im aktuellen Projekt „Radiolaria“ macht sie sich die Erkenntnis zunutze, dass Material in der Natur in verschiedenen Strukturen wächst. In Kombination mit 3D-Print-Verfahren, mit denen die Sessel generiert werden, lassen sich unterschiedliche Funktionen, wie Flexibilität und Stabilität, innerhalb eines einzigen Materials erzeugen. Im exakt programmierten Druckvorgang kann man Material genau nach der gewünschten Struktur „wachsen“ lassen. Durch Imitation pflanzlicher Zellstrukturen gelingt es, unterschiedliche Zonen von Festigkeit zu generieren. Zudem bietet das 3D-Printen exakte Ausführung ohne Materialverschwendung. Das Produkt wird an einem einzigen Ort hergestellt, im Gegensatz zu herkömmlichen Produktionsweisen, bei denen die einzelnen Komponenten an oft bis zu fünf verschiedenen Orten gefertigt und dann zu einem zentralen Ort transportiert werden, um das finale Ergebnis zu produzieren. Bei traditionellen Polstermöbeln entsteht häufig das Problem, dass mehrere Materialien kombiniert und verleimt werden müssen, um unterschiedliche Funktionsbereiche zu garantieren. Das erzeugt im Nachleben des Möbels Schwierigkeiten beim Recycling. In diesem Beispiel zeigt sich, wie Biomimikry insgesamt der Nachhaltigkeit effizient in die Hände spielen kann. Als Designerin lässt sich Lilian van Daal von scheinbar alltäglichen Dingen zu neuen Überlegungen anregen – etwa von den einzigartigen Formen bei Blüten und Blättern, Fächerungen von Pilzen und überhaupt der geometrischen Perfektion in Organismen, die Ergebnis von Jahrtausenden biologischer Trial-and-Error-Abfolgen sind.

Aus dem Pflanzenbereich kommen zahlreiche Anregungen. Berühmt ist mittlerweile das Lotusblatt, dem die wasserabweisende Oberfläche abgeschaut wurde. Nano- und Mikrostrukturanalysen entschlüsselten minimierte Kontaktflächen. Daraus entwickelt wurden selbstreinigende Materialien für Gebäude und Autos. Metalloberflächen bleiben länger einsetzbar. Die Eleganz des



© Lilian van Daal



©SAIC



© Lilian van Daal

Für sein Projekt hat das „Dewpoint“-Team im Wesentlichen die Stacheln eines Kaktus auf einer synthetischen grünen Oberfläche nachgebaut. Wie der Kaktus kann das Gerät Wasser für den späteren Gebrauch speichern (r.o.).

„Radiolaria #1“ ist ein realistisches 3D-Druckmodell eines Stuhls aus einem einzigen Material, das alle Funktionalitäten vereint: Flexibilität, Anpassungsfähigkeit, Festigkeit und Stabilität. Mit „Radiolaria #1“ setzt Lilian van Daal ihr Bestreben fort, die Produktion von weichen Sitzen unter Ausnutzung der Naturgesetze zu verbessern, anzupassen und zu innovieren. Bei diesem Projektdesign treffen Natur und neueste Technologie aufeinander, um Energie und Material so effizient wie möglich zu nutzen. Das Ergebnis ist ein Stuhl, der ohne Klebstoff aus einem einzigen Material hergestellt wird: recyceltem Polyamid (PA 12), das im Oceanz-3D-Druckverfahren hergestellt wird (Quelle: lilianvandaal.com/radiolaria), (l.u.u.).

Die segmentierte Schalenkonstruktion des Holzpavillons zeigt neue Ansätze zum digitalen Holzbau und basiert auf biologischen Prinzipien des Plattenskeletts von Seeigeln, die vom Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baukonstruktion und dem Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart seit fast einem Jahrzehnt erforscht werden (r.).

Bild links unten: Der Serpentine-Pavillon des Architekten Junya Ishigami erinnert in seiner organischen Konstruktion an einen großen Vogelflügel oder einen natürlichen Hügel (l.u.).

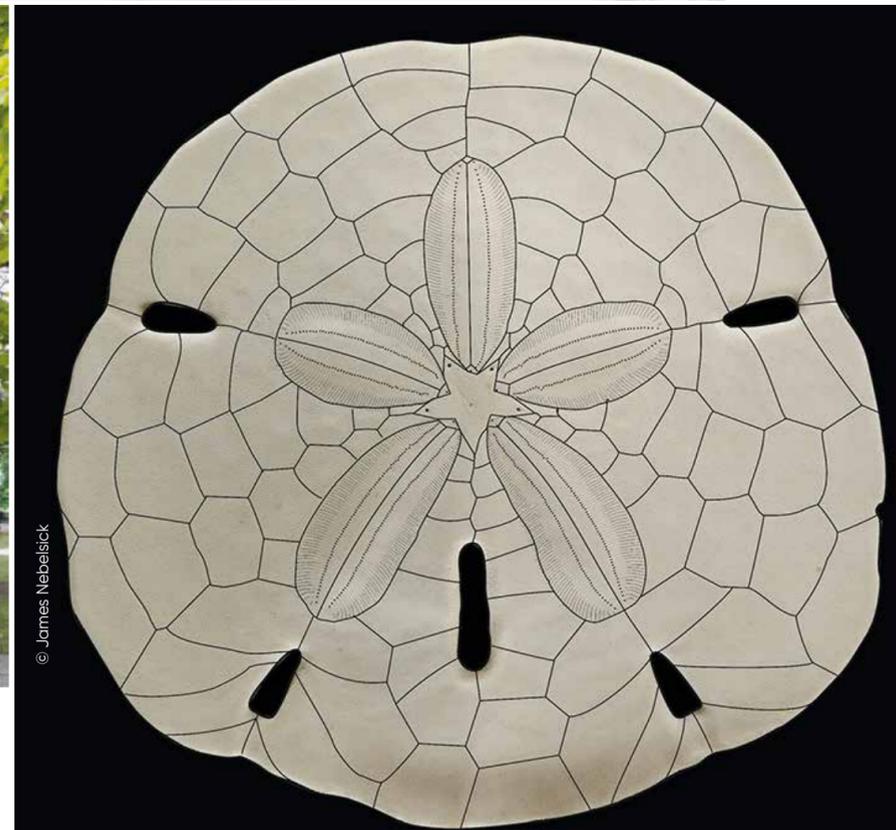
Seeigel-Skelett (Sanddollar), Vorbild für die Konstruktion des Holzpavillons (r.u.).



© ICD, ITKE Stuttgart



© Junya Ishigami + Associates, Courtesy of Serpentine Pavillon, Photo: Steven Bacon



© James Nebelsick

Lotuseffekte erklärt sich aus Konstruktion und Beschaffenheit des Blattes: Nach einer minimalen Verweildauer in der Vertiefung der Blattmitte gleitet die Flüssigkeit lässt ab, nebenbei werden etwaige Staub- oder Schmutzkörnchen mitgenommen. „Superhydrophob“ nennt das die Physik.

Sprachlose Verehrung gilt auch einem Material wie Spinnseide, die fünfmal so robust wie Stahl ist. Geniale Lösungen, die in ihrer Einfachheit bestechend wirken, inspirieren Design und Architektur seit Langem. Wie auch der anfangs vorgestellte Glasflügelfalter. Er wirkt nicht nur irreel schön, sondern ist ebenfalls Vorbild für selbstreinigende Oberflächen. Dünnes, nanostrukturiertes Glas ahmt die unregelmäßigen Nanostrukturen des Schmetterlingsflügels nach.

Vielleicht steckt die menschliche Flugfähigkeit hinter dem besonderen Interesse am Flügel-Design. Der tunesische Windturbinen-Entwickler Tyer Wind hat sich jedenfalls an der Flügelform des winzigen und zugleich kraftvollen Flugkünstlers Kolibri orientiert und spricht von einem Paradigmenwechsel bezüglich Windenergie. Genauer gesagt hat man sich an der Schwebefähigkeit des Vogels orientiert, die sich auf die Flügelform zurückführen lässt. Für Uneingeweihte mag der Eindruck entstehen, dass Kolibris beim Schweben unentwegt vertikal mit den Flügeln schlagen, tatsächlich aber bewegen sie sie in Achter-Figuren. Für die Entwicklung der neuen Turbine wurden solche Schlagflügel statt rotierender Blätter eingesetzt, die nun kinetische Windenergie in Ökostrom umsetzen – auf Basis der neu entwickelten 3D-Aouinian-Kinematik.

Richtig selbst fliegen ist und bleibt das Privileg von Flügelträgern. Aber abschauen kann man sich einiges von ihnen, um sich zumindest in der Luft transportieren zu lassen. Die Flügel der Steinadler lieferten den Anstoß zur Bionik-Innovation für neue Flugzeugtragflügel, entwickelt vom Team um Ingo Rechenberg an der TU Berlin. Bestückt mit neuartigen, mehrfach aufgebogenen Multiwinglets, die dem Aufspreizen der Adler-Handschwingen nachempfunden sind, wird Treibstoffreduktion ermöglicht und die Gleitzahl verbessert. Wenn weltweit solche Flugzeugflügel zum Einsatz kom-

men, werden enorme Summen an Treibstoff eingespart und die Ozonschicht geschont.

Entfernt erinnert auch die Form des Serpentine-Pavillons 2019 von Junya Ishigami an Flügel. Die dunklen Schindeln, die das Dach bedecken, muten wie ein geschichtetes Federkleid an. Die Konstruktion wird von eleganten Metallsäulen wie von schlanken Baumstämmen getragen und scheint aus dem englischen Rasen heraus zu wachsen.

„Wir sind jetzt wach, und die Frage ist, wie wir für die lebende Welt wach bleiben können. Wie machen wir denn die Befragung der Natur zu einem normalen Teil des täglichen Erfindens?“

Janine Benyus, amerikanische Naturwissenschaftlerin + Innovationsberaterin

Schieferplatten werden in dieser Konstruktion aus dem alltäglichen Bau-Kontext umgedeutet als etwas, das in der Wildnis vorkommen könnte – Ishigami denkt dabei an einen Hügel, an Flora und Fauna, Berge und Bäume oder auch an einen See oder einen Vogel.

Forschungen zum Seeigel brachten eine organisch geschwungene große Welle aus Holz. Das Plattenskelett des Meerestiers diente als Vorlage für die Grundstruktur der Konstruktion eines digitalen Holzbaus. „Die Anordnung der Holzkassetten und die Konstruktion der Fugen orientiert sich an der Schale von Seeigeln. So entsteht ein lastangepasstes und damit sehr effizientes Tragwerk“, erklärt Jan Knippers, Direktor des Instituts für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart. In Kooperation mit dem Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baukonstruktion (ICD) wurde der Holzpavillon entworfen. Er beherbergt eine architektonisch sehr ausgefallene Konzerthalle samt Veranstaltungsraum. Ziel war, einen biomimetischen Leichtbau mit geringem Holzverbrauch zu entwickeln, dessen Elemente wiederverwendbar sind. So entstand die segmentierte Schalenkonstruktion aus 376 maßgeschneiderten Bauteilen. Sie lässt sich vollständig abbauen und andernorts wieder zusammensetzen – wie ein dreidimensionales Puzzle.

Ein gänzlich anderes Konzept verfolgte die junge Architektin Aysu Kuru, die ein Gebäude entwickelte, das sich selbst kühlt – so wie der Golden Barrel Cactus (Goldkugelkaktus), der durch seine Stacheln Schatten erzeugt. Der Kaktus ist ein faszinierendes Wesen. Wie ein archaischer Pflanzendinosaurier wächst er in unwirtlich anmutenden Wüstengebieten und bewässert sich selbst. Tatsächlich extrahieren Kakteen Wasserpartikel aus dem Nebel, eine Fähigkeit, die in düren Landstrichen überlebensnotwendig sein kann. Nur nachts, wenn es kühler ist, öffnet der Kaktus seine Poren, um zu atmen. Anhand der Erforschung von 150 Organismen hat die Architektin eine Datenbank erstellt und stellt diese auch anderen Designern zur Verfügung. Ihre Golden-Barrel-Methode hat sie in Computersimulationen durchgespielt – das Ergebnis ist ein Gebäude, das 30 Prozent weniger Energie braucht und 40 Prozent komfortabler ist als ein konventionell konstruiertes.

Ebenfalls vom Kaktus animiert, entwickelten Studierende der School of the Art Institute of Chicago „Dewpoint“: Im Zuge ihrer Forschungen zum Thema Wassersicherheit und effiziente Speichermöglichkeiten bildeten sie die zackenartigen Kaktus-Stacheln nach, die an einem wasserspeichernden Material befestigt wurden, und kreierte

auf diese Weise „Dewpoint“. Dieses Material könnte auf Hausdächern zur Wassersammlung und Kühlung eingesetzt werden. Durch effiziente Wassernutzung und Porenatmung lässt sich zudem auch bei geringster externer Wasserzufuhr überleben. Die Schatten erzeugenden Stacheln des Kaktus werden in der Architektur zu Sonnenschutz-Elementen. Eine eigene Klimatisierung wird überflüssig, weil die Gebäudehülle der Kaktusoberfläche nachempfunden ist.

Bionische Verschattungsmodule wurden auch nach dem Vorbild der südafrikanischen Paradiesvogelblume entwickelt. Als Reaktion auf das Gewicht eines Vogels, der auf ihr gelandet ist, öffnet die Blume ihre Blätter. Davon inspiriert wurde ein Klappmechanismus für die Lamellen entwickelt. Flectofin® zierte den wellenförmigen Expo-Pavillon „One Ocean“ des Wiener Architekturbüros Soma in Südkorea.

Für ein ganz anderes Klima bietet sich das Modell laubtragender Baum an. Die Super-Bäume in den Gardens by the Bay in Singapur funktionieren wie „normale“ Bäume, nur dass sie zusammengeschlossen sind. Das ist natürlich in gewissem Sinne Spielerei, Demonstrationsobjekt für die Idee, kulturelle Aktivitäten wie künstlerischen Ausdruck und Natur in urbane Zusammenhänge zu bringen. Sie sind künstliche Nachahmungen von ge-

wachsenen Baum-Funktionen und bestehen aus einem Kern aus Stahlbeton, um den herum der Stamm und ein Netz aus Eisen und Stahl konstruiert ist. Die zwischen 25 und 50 Meter hohen Strukturen stehen einerseits als Rankhilfen für die zahllosen wuchernden Kletterpflanzen wie Bromelien, Reben, Philodendren, Farne, Orchideen und Begonien zur Verfügung. Zudem sind sie mit Solarmodulen versehen und produzieren Strom für den benachbarten Businessdistrict. Verdunstendes Wasser wird gesammelt und dient außer zur Bewässerung des Blattwerks auch als Quelle für den Libellensee und die Wasserfälle in den bionischen Glashäusern mit Nebelwald. Es kühlt und reinigt die Luft. Ähnlich wie im legendären Eden Project werden hier verschiedenste verkettete Mechanismen verwendet und verdeutlicht. Beeindruckend ist auch das rasche Wachstum der Pflanzen. Man erhält eine Ahnung, wie ein Lebensraum mit stärkerer Einbeziehung der Fauna sich anfühlen könnte.

Biomimikry stellt mehr in Aussicht als verbessertes Design. Sie zeigt auch soziale Aspekte auf: Möglichkeiten, Bewegung und Beziehungen zu organisieren, um strukturellen Wandel in Gemeinschaften herbeizuführen. Das Beispiel, wie Ameisen sich wechselseitig helfen, damit die höchste Anzahl an Individuen überlebt, könnte ein Ansporn sein, auch als menschliche Gesellschaft mehr zu kooperieren – gerade bei desaströsen Ereignissen wie Überflutungen oder Hurrikans. Um umfassend gelungene Biomimikry in Architektur und Design zu bewerkstelligen, werden die Ebenen von Organismus, Funktionalität und Verhalten gekoppelt. Dann wird das Bild ganz. **MB&V**

Expo-Pavillon von soma Architekten mit Flectofin®-Lamellen. Der Klappmechanismus ist der Blattöffnungstechnik der südafrikanischen Paradiesvogel-Blume nachempfunden. Yeosu, Südkorea



LITTLE GREENE

A LIVELY AND ENGAGING DESIGN FEATURING STRIKING BIRDS AND DELICATE FLORAL MOTIFS. SLIGHTLY RAISED AND INCORPORATING RICH GILDING DETAIL, THE PATTERN WAS ORIGINALLY DESIGNED TO IMITATE STAMPED LEATHER. BASED ON EARLY 18TH CENTURY FRENCH TEXTILES AND FURNISHINGS, ENCOMPASSING PANELS, SCROLLS AND CROSS HATCHING, THIS WALLPAPER WAS FOUND AT BRODSWORTH HALL IN SOUTH YORKSHIRE. AN ELEGANT, VICTORIAN HOME, IT WAS BUILT BETWEEN 1861–1863, PRIVATELY OWNED AND INHABITED UNTIL 1990, AND HAS SINCE BEEN CONSERVED BY ENGLISH HERITAGE.