



STUART BURGESS



BIO-INSPIRIERTE KONSTRUKTIONEN

AKTION
Perspektive





BIO-INSPIRIERTE KONSTRUKTIONEN

Stuart Burgess

Von einer bio-inspirierten Konstruktion (engl. bio-inspired design) spricht man, wenn bessere Technologien für ingenieurmäßige Konzeptionen entwickelt werden konnten, nachdem man biologische Systeme in der Natur studiert hat und sich davon inspirieren ließ.

In der Natur finden wir so brillante Konstruktionen, dass sie in der heutigen Zeit eine wichtige Ideenquelle für technische Erfindungen darstellen.





Ein frühes Beispiel für die Nachahmung der Natur findet man bei den Gebrüdern Wright, die zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts das erste Flugzeug, die **Kitty Hawk**, bauten. Die Ingenieure hatten sich schwer damit getan zu verstehen, wie man einen kontrollierten Flug verwirklichen kann. Als die Gebrüder Wright jedoch den **Vogelflug** studierten, sahen sie, wie die Vögel ihre Schwanzfedern benutzen, um dem destabilisierenden Reaktionsmoment entgegenzuwirken, das immer dann auftritt, wenn ein Flugzeug eine Kurve dreht. Diese Beobachtung veranlasste sie dazu, Steuerelemente wie Quer-, Hö-

hen- und Seitenruder einzubauen, die einen kontrollierten Flug ermöglichten.

Ich hatte das Privileg, in den letzten 20 Jahren mehrere Fallstudien über bio-inspiriertes Design durchzuführen.

Auf Grundlage dieser Studien habe ich etwa 50 wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht, die Empfehlungen für bio-inspirierte Konstruktionen enthalten. In diesem Faltblatt werde ich drei meiner bemerkenswertesten Projekte beschreiben und zusammenfassen, welche Lehren ich daraus zog.





VON DER LIBELLE INSPIRIERTE DROHNEN

Ingenieure versuchen, sehr kleine Drohnen von der Größe einer Libelle zu entwickeln, die Erkundungsflüge an gefährlichen Orten wie Kernkraftwerken und beschädigten Gebäuden ermöglichen.

An meiner Universität habe ich eine Drohne entwickelt, die auf dem Design der gewöhnlichen europäischen Segellibelle basiert. Mein Team hat Libellen im Labor gefilmt, um im Detail zu studieren, wie sie mit den Flügeln schlagen. Wir waren erstaunt, wie die Libellen mit großer Präzision und Steuerung vorwärts, rückwärts und seitwärts fliegen können.

Wir stellten fest, dass die von uns eingefangenen Libellen 40 Flügelschläge in der Sekunde machten. Wenn sie mit den Flügeln schlagen, verdrehen sie diese zudem sehr schnell, wobei ein

starker Wirbel erzeugt wird, der ihnen eine große Auftriebskraft verleiht.

Wir haben die Libellen auch seziiert, um zu sehen, was sich im Inneren befindet, und waren erstaunt, an der Wurzel eines jeden Flügels einen Präzisions-Scharniermechanismus vorzufinden, der so genau arbeitet, als sähen wir in eine Schweizer Uhr. Einen interessanten Mechanismus fanden wir bei den Flügelscharnieren. Dieser besteht aus einem komplizierten Viergelenkgetriebe – also einer technischen Lösung, die in vergleichbarer Form bei Pkw-Radaufhängungen zum Einsatz kommt.



Ingenieure wissen, dass solche Systeme eine **nicht weiter reduzierbare Komplexität** aufweisen. Das bedeutet, dass alle Teile dieses Mechanismus gleichzeitig vorhanden sein müssen, um ihre vorgegebene Funktion zu erfüllen. Solche Mechanismen können sich nicht Schritt für Schritt entwickeln; sie müssen von Anfang an wirksam sein und darum von einem Designer als komplettes System geplant und entworfen worden sein.

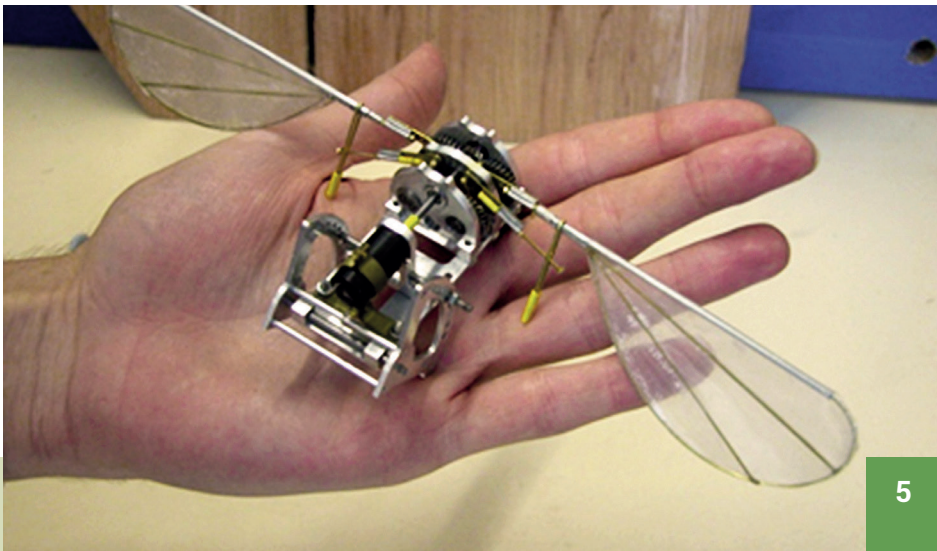
Wir haben drei Jahre damit verbracht, Mechanismen zu entwickeln, die auch nur annähernd Flügelschläge nachbilden können, wie die Libelle sie zu erzeugen vermag. Wir kamen zu einer sehr ernüchternden Erkenntnis, denn mit unserem Gerät brachten wir es auf zehn Flügelschläge pro Sekunde, was

nur einem Viertel der Geschwindigkeit der echten Libelle entsprach.

Bei unseren Beobachtungen fanden wir einige erstaunliche Fähigkeiten von Insekten heraus. Einige Mücken können ihre Flügel über 1000-mal pro Sekunde schlagen! Wir haben auch herausgefunden, dass Fliegen kopfüber an einer Decke landen können. Diese erstaunliche Meisterleistung wird vollbracht, indem die Fliege kurz vor der Landung an der Decke ihren Körper um präzise 180 Grad dreht!

Wir gelangten zu dem Schluss, Insekten müssen einen Designer haben, der weit aus sachkundiger und mächtiger ist als jeder menschliche Designer.

$$\begin{aligned} P_{aero} &= 2 \left\{ 0.5 \rho C_L C_w \cos \beta \int_0^{2/3 L_w} r^3 dr \right\} \left\{ \frac{\omega_{max}^3}{\pi} \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta \right\} \\ &+ 2 \left\{ 0.5 \rho C_L C_w \cos \beta \int_{0.666 L_w}^{L_w} \frac{(r_1 - r)}{(r_1 - r_2)} r^3 dr \right\} \left\{ \frac{\omega_{max}^3}{\pi} \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta \right\} \\ P_{aero} &= \rho C_L C_w \cos \beta \omega_{max}^3 \frac{L_w^4}{18.1} \end{aligned}$$





VON DER NATÜRLICHEN HAND INSPIRIERTES EXOSKELETT

Es gibt einen Bedarf an leichteren Exoskeletten für medizinische Anwendungen, die für Patienten leicht handhabbar sein müssen.

Solche Exoskelette sind roboterartige Stützstrukturen, die an Gliedmaßen befestigt werden, um diese zu stärken. Wenn jemand einen Schlaganfall erlitten hat und dadurch seine Hände geschwächt wurden, kann ein Exoskelett die fehlende Kraft ergänzen.

Mein Forschungsteam analysierte die **Konstruktion der menschlichen Hand**, um dann ein bio-inspiriertes Exoskelett der Hand zu entwickeln. Wir haben uns die Funktionsweise der Finger genau angesehen, um zu verstehen, wie die Finger gestaltet sind. Einer der

Gründe, warum der menschliche Finger so schlank und beweglich ist, liegt darin begründet, dass es in den Fingern keine Muskeln gibt. Stattdessen befinden sich die Muskeln, die die Finger bewegen, in der Hand und im Arm. Diese Muskeln sind über dünne Sehnen mit den Fingern verbunden. Die Sehnen sind von Schutzmänteln, den Sehnenscheiden, umhüllt, die eine genaue Führung der Finger ermöglichen.

Der Zeigefinger hat sieben verschiedene Muskeln, die den Finger vorwärts und rückwärts und von rechts nach





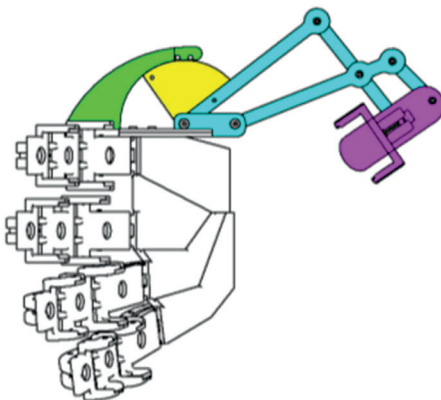
links bewegen können. Die Muskeln und Sehnen agieren so genau, dass die Finger mit Feinregulierung und Präzision bewegt werden können. Die menschliche Hand kann ein Sandkorn mit einem Gewicht eines Bruchteils eines Gramms halten. Sie kann auf Musikinstrumenten nach Noten spielen und dabei sogar mehr als zehn Noten pro Sekunde gefühlvoll und empfindsam zu Gehör bringen. Unsere Finger vermögen sogar auf einer glatten Fläche eine winzige Erhöhung von nur 13 Nanometern zu ertasten.

Auf der Grundlage unserer Beobachtungen haben wir ein Exoskelett entworfen und gebaut. Wir verwendeten die beste Technologie, aber dennoch gelang es uns nicht, die Präzisionsbewegung einer echten menschlichen Hand zu erreichen. Trotz aller Einschränkungen war unser Exoskelett in der Lage, Menschen mit schwachen Armen und Händen zu helfen. Wir testeten unser Exoskelett

bei einer Dame, die einen Schlaganfall erlitten hatte, und sie war sehr dankbar dafür, wieder Konservendosen anheben zu können.

Unsere Studien der menschlichen Hand zeigten uns, welch ein Kunstwerk und brillantes technisches Meisterwerk sie ist.

Es wurde uns klar, die menschliche Hand ist dazu konstruiert, um geschickte Dinge zu erledigen, wie Musikinstrumente zu spielen und handwerkliche Arbeiten auszuführen. So etwas würde man auch erwarten, wenn ein Schöpfergott den Menschen für geschickte Arbeiten und zur Freude geschaffen hätte. Es ist jedoch nicht das, was man von der Evolution erwarten würde, denn laut dieser Theorie hat sich der Mensch nur für Überlebensstrategien wie z. B. für das Kämpfen entwickelt.





VOM MENSCHLICHEN KNIE INSPIRIERTES ROBOTERGELENK

Mein Forschungsteam hat auf der Grundlage des menschlichen Kniegelenks auch ein Knie für Roboter entwickelt.

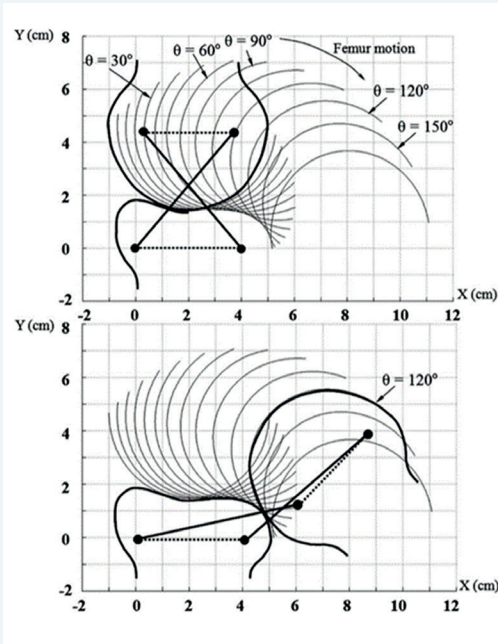
Das menschliche Kniegelenk verfügt über eine bemerkenswerte Kraft und Ausdauer. Es ist so stark, dass die Knie sogar jenen enormen Kräften standhalten können, wenn Fußballspieler sich drehen, wenden und auf ihren Knien rutschen.

Während des 80 Jahre langen Lebens einer aktiven Person kann sich das Kniegelenk mehr als 50 Millionen Mal gebeugt und gestreckt haben. Bei einem dreistündigen Marathonlauf beugt und streckt sich das Gelenk etwa 20 000-mal. Erstaunlicherweise kann sich das Knie-

gelenk selbst warten und reparieren. Natürlich müssen manche Menschen bei Krankheit, Unfall oder übermäßigem Verschleiß ein Ersatzgelenk bekommen. Wenn man davon einmal absieht, kann das Knie als äußerst robust angesehen werden.

Eines der Geheimnisse des menschlichen Kniegelenks, warum es eine so gute Konstruktion ist, ist eine Art Drehscharnier-Gelenk, durch den der Oberschenkelknochen in einer sanften Bewegung über die Kniescheibe und den Schienbeinknochen rollt. Zusätzlich zu





diesem Mechanismus sorgen die Bänder des Kniegelenks dafür, dass das Knie eine hohe Stabilität aufweist und sich gleichzeitig gut bewegen kann.

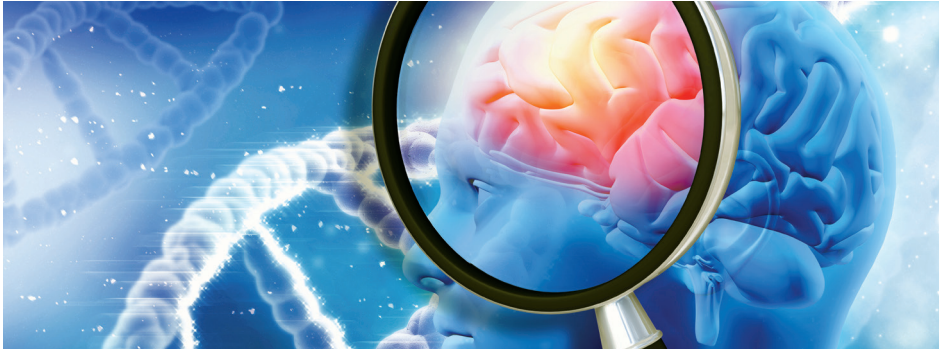
Eines der Geheimnisse des menschlichen Kniegelenks, die sein gutes Design ausmachen, ist eine Art Nockengelenk, mit dessen Hilfe der Oberschenkelknochen eine sanfte Drehbewegung gegenüber dem Schienbeinknochen vollführen kann. Die Bänder des Kniegelenks führen und stabilisieren diese Bewegung. Eine zentrale Rolle kommt hierbei dem vorderen und hinteren Kreuzband zu, die gewissermaßen als Bestandteile eines inversen 4-Gelenk-Parallelogramms angeordnet sind.



Das Kniegelenk ist ein weiteres Beispiel für nicht reduzierbare Komplexität, da das Kniegelenk nur dann funktionieren kann, wenn alle notwendigen Einzelteile vorhanden und korrekt zusammengesetzt sind.

Im Gegensatz zum menschlichen Kniegelenk halten Ersatzgelenke nur etwa zehn Jahre und verfügen längst nicht über so viel Bewegungsspielraum. Das alles belegt die Überlegenheit des menschlichen Kniegelenks.





DIE ÜBERLEGENHEIT DES DESIGNS IN DER NATUR

Eine der wichtigsten Lehren aus den bio-inspirierten Konstruktionen ist, dass das Design der Natur immer besser ist als die ingenieurmäßigen Konstruktionen des Menschen.

Vögel sind bessere Flieger als jedes Flugzeug, Fische sind bessere Schwimmer als jeder Torpedo. Seide hat eine viel größere Reißlänge¹ als jede künstliche Faser.

Das **menschliche Gehirn** ist besser als jeder Supercomputer. Der leistungsstärkste Supercomputer der Welt (IBM-Summet) kann die Leistung eines menschlichen Gehirns nicht erreichen, zudem ist er 1000-mal größer und benö-

tigt eine Million Mal mehr Energie für seinen Betrieb. Genau das würde man auch erwarten, wenn Gott die Welt entworfen hätte, weil Gottes Wissen vollkommen ist. Dem biblischen Schöpfungsmodell können wir entnehmen, dass die Natur der vom Menschen geschaffenen Technik überlegen sein sollte, und genau das belegen unsere Forschungsergebnisse.

Im Gegensatz dazu sollte die Natur der Evolution zufolge der vom Menschen geschaffenen Technik unterlegen sein, weil die Evolution auf schrittweise Veränderungen beschränkt ist. Dies entspricht nicht dem, was wir an einzigartigen Mechanismen in der Natur vorfinden.

¹ Die Reißlänge ist eine charakteristische Materialeigenschaft, die meistens in km angegeben wird. Es ist diejenige Länge, bei der ein frei hängender Draht oder Faden aufgrund seines Eigengewichtes abreißt. Ein Material ist umso hochwertiger, je größer dieser Wert ist.





KEIN SCHLECHTES DESIGN

Eine weitere wichtige Lehre aus den bio-inspirierten Konstruktionen ist, dass es in der Natur kein schlechtes Design gibt, wie manchmal behauptet wird. Solche Annahmen beruhen jedoch auf einem mangelnden Verständnis darüber, was eine gute Konstruktion ausmacht.

Manche meinen zum Beispiel, das **menschliche Auge** sei schlechtes Design, weil das Licht erst die Netzhaut passieren müsse, um die lichtempfindlichen Zellen zu erreichen, die sich hinter der Netzhaut befinden. Wissenschaftler haben jedoch entdeckt, dass das Licht durch die sogenannten Müllerzellen geleitet wird, die ähnlich wie Glasfaserkabel funktionieren. Das bedeutet, das Licht wird auf dem Weg durch die Netzhaut keineswegs beeinträchtigt. Vielmehr ist es so, dass das Lichtsignal noch verbessert wird, weil reflektiertes Licht aus dem einfallenden Lichtsignal dadurch entfernt wird.

Andere Leute meinen, dass der **rückläufige Kehlkopfnerve** (auch Stimmnerv oder Nervus laryngeus recurrens genannt) schlecht konstruiert sei, weil er sich bis zum Herzen schlängelt, anstatt direkt vom Gehirn zum Kehlkopf zu gehen. Nur weil der Nerv eine Schlinge hat, bedeutet dies jedoch nicht unbedingt, dass es sich um ein schlechtes Design handelt. Dies gilt umso mehr, als die Schlinge nicht zu einer verminderten Leistung führt.



Es gibt in der Tat sehr logische Gründe dafür, warum der rückläufige Kehlkopfnerf eine Schlinge hat.

Es ist von der Technik her bekannt, dass optimale Verkabelungssysteme oft Schleifen haben. Der Vorteil einer Schleife ist, dass sie es ermöglicht, Zwischenverbindungen zu Stellen herzustellen, die sonst nicht erreicht werden könnten. Dies ist beim Kehlkopfnerf der Fall, da er Zwischenverbindungen zur Luft- und Speiseröhre herstellt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Teile sich bewegen können, die miteinander verbunden sind. Dies ist während des Wachstums eines Säuglings der Fall, bei dem sich die Organe deutlich auseinander bewegen.

Zu behaupten, der Kehlkopfnerf sei schlecht konstruiert, basiert auf einem mangelnden Verständnis der vielfältigen Funktionen eines Leitungssystems.

Das Nervensystem im menschlichen Körper hat ein erstaunlich ausgeklügeltes Design.

Erwachsene haben 150 000 Kilometer „Verkabelungen“ in sich, die praktisch jeden Kubikmillimeter des Körpers durch ein immenses Netzwerk von Nervenbahnen erreichen! Das Nervensystem ist ein Beispiel für brillantes Design, aber keineswegs für ein schlechtes!





DER URSPRUNG VON KRANKHEIT UND TOD

Bei der Betrachtung von Design in der Natur ist es normal, den Ursprung von Verfall und Krankheit zu hinterfragen. Es ist wichtig zu klären, dass die Existenz von Verfall und Krankheit keineswegs bedeutet, das Design in der Natur sei nicht ausgezeichnet.

Auch wenn das menschliche Herz dem Verfall und der Krankheit unterworfen ist, ist es dennoch brillant konstruiert. Design und Verfall sind zwei höchst unterschiedliche Dinge.

Die Bibel erklärt den Ursprung von Verfall und Krankheit. Als Gott die Welt schuf, war sie vollkommen, sie war ohne Tod und ohne Leiden. Das bedeutet, es gab in der Natur keine Raubtier-Beute-Beziehungen. Dieser Zustand hielt jedoch nicht sehr lange an, da bald die Sünde in die Welt kam und alles veränderte. In 1. Mose 3 wird erklärt, wie Adam und Eva gegen Gott rebellierten, indem sie die verbotene Frucht aßen. Dies führte zu einem Gericht, das einen Fluch über die gesamte Schöpfung mit sich brachte.

Seit der Zeit von Adam und Eva befindet sich alles in einem Zustand des Verfalls. Es gibt direkte wissenschaftliche Beweise für diesen Verfall, da viele Arten aussterben und die Lebewesen nach einigen aufeinanderfolgenden Generationen ihre Gesundheit und Schönheit verlieren.

Der Zerfall ist auch das, was wir vom zweiten Hauptsatz der Thermodynamik erwarten würden.

Trotz der Auswirkungen des Sündenfalls von Adam gibt es immer noch erhabene Schönheit und große Wunder in der Welt, die unzählige Ingenieure und Wissenschaftler inspirieren können.





BEWEISE FÜR INTELLIGENTES DESIGN

Die Beweise für intelligentes Design sind überwältigend. Dies sollte nicht überraschen, denn die Bibel lehrt, dass Gottes Eigenschaften in der Schöpfung klar zu erkennen sind:

Denn sein unsichtbares Wesen, nämlich seine ewige Kraft und Gottheit, wird seit Erschaffung der Welt an den Werken durch Nachdenken wahrgenommen, sodass sie keine Entschuldigung haben.
(Die Bibel, Römer 1,20)

Im Buch Hiob wird über die Schöpfung erklärt: „**Gott tut große Dinge, die wir nicht begreifen**“ (Hiob 37,5). Die moderne Wissenschaft hat die Wahrheit dieses Verses belegt. Das Buch Hiob weist auch darauf hin, dass Gott in der Erkenntnis vollkommen ist (Hiob 37,16). Es ist kein Wunder, dass Ingenieure Entwürfe aus der Schöpfung kopieren, weil Gott ein vollkommener Konstrukteur ist.

Einer der Gründe, warum so viele der Gründerväter der Wissenschaft an Gott glaubten, ist, dass sie in der Schöpfung erstaunliches Design sehen konnten.

Isaac Newton sagte, dass der Entwurf des Sonnensystems so fein abgestimmt sei, dass es von einem Schöpfer geschaffen sein müsse. Robert Boyle wies darauf hin: „Denkt daran, demjenigen Ehre zu geben, der die Natur erschaffen hat.“

Auch heute noch gibt es viele Wissenschaftler, die den Gütestempel Gottes in der Schöpfung erkennen.





DIE OFFENBARUNG DES SCHÖPFERS AN DEN MENSCHEN

Da die Schöpfung einen Schöpfer hat, würde man erwarten, dass der Schöpfer ein Zeugnis seiner Absichten und Anweisungen für die Menschheit hinterlässt. Genau das finden wir in Form der Bibel vor. Die Bibel ist ein bemerkenswertes Buch, das in seinen historischen Berichten als korrekt verifiziert worden ist.

Da Gott unser Schöpfer ist, sind wir IHM gegenüber rechenschaftspflichtig, und eines Tages müssen wir alle vor IHM erscheinen. Wenn wir dem Dreieinigen Gott unsere Sünden nicht bekennen und sie uns nicht vergeben lassen, werden wir für unsere Taten verurteilt und sind nicht für den Himmel qualifiziert.

Gottes Wort, die Bibel, erklärt jedoch die frohe Botschaft: Gott hat einen Weg zur Errettung geschaffen. Uns werden unsere Sünden vergeben, wenn wir sie bekennen und unser Vertrauen auf den Herrn Jesus Christus setzen. Dies ist möglich, weil Jesus Christus, der Sohn Gottes, stellvertretend die Strafe für unsere Sünde am Kreuz auf sich nahm.

Die Schöpfung zeigt, dass Gott an Weisheit und Verstand vollkommen ist. Deshalb können wir darauf vertrauen, dass der in der Bibel beschriebene Weg der Erlösung vollkommen wirksam und perfekt angelegt ist.

GUTSCHEIN 52-0

Ich bestelle kostenlos:

- ☐ Werner Gitt
Fragen, die immer wieder gestellt werden,
Taschenbuch, 192 Seiten
- ☐ **Die Bibel**
Fester Einband, 1.488 Seiten

— Stück: Stuart Burgess
Bio-inspirierte Konstruktionen
(diese Broschüre)

Der Gutschein ist nur einmal verwendbar.
Weitere Infos: bruderhand.de/gratis



Bitte senden Sie den Gutschein an:

Bruderhand-Medien
Am Hofe 2, 29342 Wienhausen
Deutschland, Tel.: 05149 9891-0
E-Mail: versand@bruderhand.de

Name:

Straße, Nr.:

PLZ, Ort:

Land:



STUART BURGESS



Professor Burgess ist Professor für technisches Design in Großbritannien (Universität Bristol) und den USA (Liberty Universität) und hat mehrere Bücher über Design in der Natur geschrieben. Er hat einige nationale Auszeichnungen für Design gewonnen, darunter zwei für bio-inspiriertes Design: die „Wessex Scientific Medal“ und den „James

Clayton Prize“. Er ist mit Jocelyn verheiratet (die Deutsch spricht) und hat fünf Kinder.

Stuart Burgess arbeitete an Projekten für die Europäische Weltraumorganisation ESA (European Space Agency). Dies beinhaltete die Leitung der Design-Entwicklung für das Solargruppen-Entfaltungssystem am weltgrößten Erdbeobachtungssatelliten Envisat. Er arbeitete auch am Design der europäischen Skylark-Rakete.

Botschaften fürs Leben

Wir empfehlen Ihnen ebenso unseren YouTube-Kanal „Bruderhand-Medien“. Zeitgemäß, relevant und anschaulich werden Themen über die Bibel, über Jesus Christus, den Glauben an Gott und Fragen nach dem Sinn unseres Lebens entfaltet.

Quicklink zu diesem YouTube-Kanal:
<https://bruderhand.de/youtube>



Bildnachweise: Titelseite: © Ana - stock.adobe.com; © smarria2015/stock.adobe.com; S. 2: © Inge Wallumrød/Pexels; S. 3: © Andreas Neßlinger/stock.adobe.com; S. 4: © Premium Stock Images - stock.adobe.com; S. 6: © Steffen Schwenk/stock.adobe.com; S. 8: © Anton - stock.adobe.com; S. 9: © Phel/stock.adobe.com; S. 10: © kirstypargeter - istockphoto.com; S. 11: © DKcomposing - stock.adobe.com; S. 12: © Nerthuz - istockphoto.com; S. 13: © Sergey Nivens - stock.adobe.com; S. 14: © panaramka - stock.adobe.com

Titel der englischen Originalausgabe: *Bio-inspired Design*
Übersetzung: Bettina Hahne-Waldscheck.

Bruderhand-Medien
Am Hofe 2, 29342 Wienhausen, Germany
Homepage: bruderhand.de

Homepage des Autors:
<https://profstuartburgess.com>

Bestell-Nr. 52-0 | Ausgabe 2022