

**Zeitschrift:** Saiten : Ostschweizer Kulturmagazin  
**Herausgeber:** Verein Saiten  
**Band:** 27 (2020)  
**Heft:** 302

**Artikel:** Libellen-Anzug und Salamander-Lokomotion  
**Autor:** Hertler, Roman  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-954310>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Libellen-Anzug und Salamander-Lokomotion

**Bionik, Biomimetik, Robotik: Ohne die Natur als Vorbild wäre die Technologie nicht da, wo sie heute ist. Saiten hat mit einem Werklehrer, einem Erfinder und einer Biorobotikerin über Chancen und Grenzen des Machbaren gesprochen.**

**Von Roman Hertler**

Bionik ist auch ein Showbusiness, findet Walter Arn. Wir treffen den 80-jährigen Tüftler und Werklehrer in seinem Atelier in Flawil. Der Raum ist vollgestopft mit Büchern und Archivschachteln. Von der Decke hängen etliche farbenfrohe Bastelarbeiten, Origami-, Holz- und Metallkonstruktionen, zu denen ihn meist die Natur inspirierte. Arn forscht seit Jahrzehnten in den Bereichen Technik, Biologie, Design und Bildung. Im Botanischen Garten St.Gallen gibt er manchmal Bionik-Kurse.

Der vielgepriesene «Lotus-Effekt», also Oberflächen, die sich bei Regen selbst reinigen, habe die Bioniker und die Outdoor-Bekleidungsindustrie zwar beflügelt, aber eine brauchbare technische Umsetzung sei bis heute nicht gelungen. Und man hätte das Naturphänomen ebenso gut «Kohlräbli-Effekt» taufen können, dessen Blätter funktionieren nämlich gleich wie beim Lotus, «aber es tönt halt nicht so gut». Arn lächelt über solche Eitelkeiten der Wissenschaft.

«Man bekommt aus der Natur nicht immer alles einfach geliefert. Manchmal gibt sie die Initialzündung, dann folgt meist eine langwierige Phase von Forschung, Versuchen und Scheitern.» Die Erfindung des Klett-Verschlusses, das bionische Paradebeispiel schlechthin, sei im Grunde ein Zufall gewesen. Weil der Schweizer Ingenieur Georges de Mestral nach Spaziergängen seinen Hunden immer wieder die Früchte der Grossen Klette aus dem Fell klauben musste, legte er diese unters Mikroskop und erkannte so deren Haftungsmechanik. Bis es die Erfindung der 1940er-Jahre (Patentanmeldung 1951) als taugliches Alltagsinstrument für Astronauten im Weltall und am Boden gebliebener Turnschuhträger schafft, vergehen aber Jahre.

«In der Bionik verläuft längst nicht alles so erfolgreich wie beim Klettbeispiel», sagt Walter Arn. Viele Forscher hatten tolle Ideen und dem damaligen Zeitgeist entsprechend wunderbare Bildbände veröffentlicht. Denn was die Bionik zuverlässig liefert, sind spektakuläre Rasterelektronen- und andere mikroskopische Aufnahmen. Diese Bücher hätten aber oft höchstens einen pädagogischen – und für die Publizisten natürlich auch einen monetären – Wert gehabt, aber kaum je die Technologie nennenswert weitergebracht.

Dennoch ist Pädagogik dem gelernten Werkzeugmacher eine Herzensangelegenheit. Ob früher als pädagogischer Leiter des Technoramas in Winterthur oder heute als Pensionär, der mit Homeschool-geplagten Kindern der Nachbarschaft Windräder aus Pet-Flaschen – die von Mario Botta designte *Bottiglia* (Valser Wasser) mit ihren Rillen eignet sich besonders – und anderen Alltagsutensilien entwickelt. «Man kann den Kindern und Jugendlichen etwas zum Frass vorlegen, aus dem nicht immer direkt etwas entstehen muss. Sie sollen es selber in die Hand nehmen, experimentieren und nach Lösungen suchen.»

Damals als Oberstufenlehrer hat er sich längere Zeit um eine Praxismethode zum Zeichnen einer logarithmischen Spirale bemüht, einer Spirale also, deren Linienabstände immer grösser werden, je weiter sie sich vom Zentrum wegbewegen – wie bei Schneckenhäusern. Ende der 80er-Jahre ist Arn an der deutschen Bildungsmesse Didacta auf ein Buch eines Amerikaners gestossen, der eine Konstruktionsmethode vorschlug. Allerdings hat sich diese im Schulalltag nicht bewährt, bis einer seiner Schüler

im achten Sonderschuljahr eine Aufgabe falsch verstand und so selber eine einfache Zeichenmethode entwickelte, die Arn später in seinem Buch *Phänomene zwischen Natur und Technik* beschreibt.

Beim Windrädchen bauen hat Arn auch die Wanze geholfen. Diese frisst kleine Löcher in die Blätter, in denen sie ihre Eier ablegt. Die Löcher in einer Reihe angeordnet können auch eine Sollbruchstelle ergeben, die es beispielsweise erleichtert, die runden Pet-Flaschen in der gewünschten Form zuzuschneiden.

In das Schlupfwespenweibchen setzt Walter Arn seit Jahren einige Hoffnung. Das etwa 2 bis 3 Zentimeter grosse Insekt bohrt mit seinem Stachel bis zu 5 oder 6 Zentimeter tief ins Holz, um dort seine Eier abzulegen. Aufnahmen des Rasterelektronenmikroskops haben gezeigt, wie es das bewerkstelligt: Drei sich unabhängig voneinander bewegende Raspeln werden in den Untergrund getrieben und nehmen dabei Funktionen wie Andrücken, Bewegen und Verhaken im Wechselspiel wahr. «Ein meiselartiger Bohrer mit Gelenken bestückt wäre wohl in der Lage, drei- oder viereckige Löcher zu bohren, nicht mehr nur runde.» Was beispielsweise «für die Knochenschlosserei eine verrückte Sache» wäre. Auch unter Wasser oder im Weltraum könnte die Technik eingesetzt werden. Für die Entwicklung der Idee zeichnet das Team um Oliver Schwarz von der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg verantwortlich. Den Prototypen designt hat Kiyoharu Nakajima. Die Suche nach Investoren und einer Herstellerfirma läuft noch.

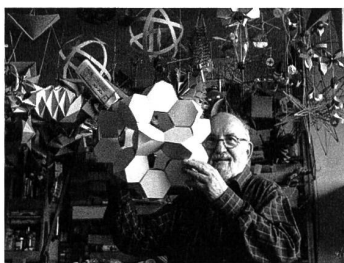
## Im Flugmodus

Einer der umtriebigen Erfinder der Schweiz ist Andreas Reinhard. Prägend für ihn, der auch ohne klassischen Universitätsabschluss auskommt, waren seine «Lehr- und Wanderjahre» beim Gottlieb-Duttweiler-Institut in Rüschlikon, wo er sich vertieft mit Energie- und Mobilitätsfragen befasst hat. Reinhard hat später gleich selber Firmen gegründet (prospective concepts, iii solutions u.a.), um Produkte zu entwickeln. Immer wieder klopfen auch grössere Kunden aus der ganzen Welt bei ihm an. Über 140 Erfindungen hat er für seine Kunden oder in seinem Namen patentieren lassen. Dabei inspirierten ihn oft Lösungsansätze aus der belebten Natur.

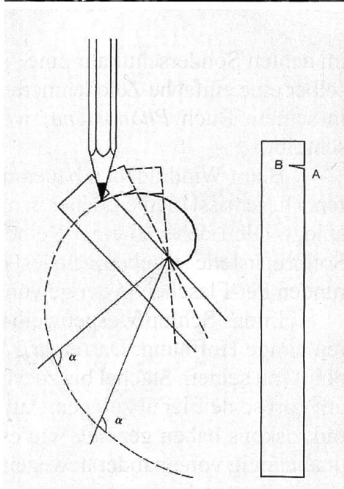
Eines seiner bekanntesten Produkte ist der hydrostatische Beschleunigungsanzug LIBELLE G-Multiplus, der es Kampffjetpiloten ermöglicht, viel stärkere Beschleunigungskräfte zu ertragen als üblich, ohne das Bewusstsein zu verlieren. Die Libelle ist in der Lage, bis zu 30 g Querbeschleunigung zu ertragen. Ihr Blutkreislauf ist flüssigkeitsgelagert und der Druck damit hydrostatisch zu nahezu 100 Prozent kompensiert. Auf diesem selbstregulierenden Prinzip basiert Reinhard's G-Anzug, der komplett ohne Ventile oder Elektronik funktioniert und daher keine Anschlüsse im Cockpit benötigt. Die Flüssigkeit in sogenannten Fluidmuskeln übernimmt dabei die hydrostatische Funktion. «Damit ist nicht die Schwerkraft weggezaubert, aber die Wirkung der Schwerkraft», sagt Reinhard.

Ein Pilot solch einer «heissen Maschine» verliert in 40 Minuten rund drei Liter Wasser, zwei durchs Schwitzen, einen

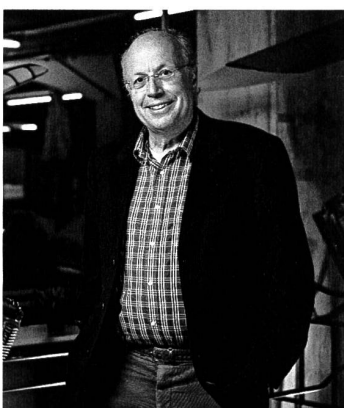
Walter Arn in seinem Atelier in Flawil.



Aus einem Stück Karton lässt sich eine Vorrichtung zum Zeichnen einer logarithmischen Spirale herstellen: Die eine Seite des Kartonstreifens wird am Zentrum angelegt. Die Bleistiftspitze wird jetzt von A nach B bewegt. In B anhalten. Den Stift auf dem Papier belassen. Den Punkt A des Kartonstreifens an der Bleistiftspitze und der Stecknadel (Zentrum) wieder anlegen. Mit der Bleistiftspitze nach B fahren, dort parkieren, das Kartonsstreichen wieder neu einstellen... Strichlein um Strichlein entsteht die Spirale. Je kürzer die Einkerbung, desto genauer wird sie.



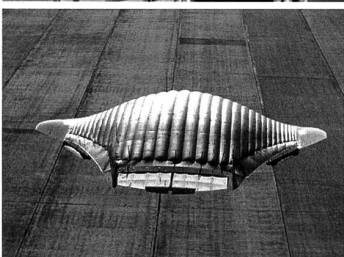
Andreas Reinhard, Hansdampf in allen Erfindergassen.



Piloten der deutschen Luftwaffe beim Test des Libellen-Anzugs.



Der STINGRAY ist ein Nurflügler, dessen leichte Bauweise mit luftgefüllten Textilflügeln auch andernorts zum Einsatz kommt.



durchs Atmen. Die Organe werden bis zu 15 Zentimeter verschoben. Als Versuchspilot hat Reinhard das oft am eigenen Leib erfahren. Der Libellen-Anzug vermindert die Auswirkungen der Fliehkräfte ähnlich einem Korsett. Nach hunderten Testfahrten in Zentrifugen und Testflügen in den stärksten Kampffjets konnte das Flüssigkeitsvolumen in den Anzügen seit 1988 von 28 auf 3 Liter reduziert werden. Piloten können nun bei Belastungen von 9 bis 10 g immer noch klar sprechen, den Arm heben und sogar den Rubikswürfel lösen. Bei gängigen pneumatischen Anzügen ein Ding der Unmöglichkeit.

«Andreas, I've seen the g-god», soll ein leicht euphorisierter, hochdekorierter Top Gun-Pilot nach einem Testflug mit einer G-Überschreitung über 10,6 g gesagt haben. Ein Affentheater sei das gewesen, bis man in das Top-Secret-Gebiet der Edward Air Force Base in Kalifornien hineingekommen sei, erzählt Reinhard. Einmal drin, sei die Begeisterung zunächst gross gewesen, habe dann aber abgenommen, je weiter das Vorhaben gen Osten, Richtung Entscheidungsfindung in Washington D.C., rückte. Man sei da auch ein bisschen naiv gewesen zu glauben, dass die Amerikaner es je zulassen würden, dass ein Schlüsselement eines Hightech-Vehikels wie der F-22 oder der F-35 vom Ausland entwickelt wird. Immerhin hat die deutsche Luftwaffe den Libellen-Anzug ins Eurofighter-Programm integriert, auch in zahlreichen weiteren Ländern wurde er zugelassen.

Reinhard's Anzugs-Technologie kommt allerdings auch im Zivilen zum Einsatz. Medizinische Tests haben gezeigt, dass sich nach demselben Prinzip wie beim G-Anzug wirksame Thrombosestrümpfe herstellen lassen. Die Bauweise des rochenförmigen Nurflüglers STINGRAY mit seinen luftgefüllten Textilflügeln wurde in weiteren kommerziellen Produktreihen angewandt, beispielsweise bei variablen Bugspoilern für Fahrzeuge oder sich dem jeweiligen Passagiergewicht automatisch anpassenden Flugzeugsitzen.

Von der Natur gibt es enorm viel zu lernen, und man weiss nie, was am Ende rauskommt. In seinem Buch «Door-to-Door-Mobilität» schreibt Reinhard: «Milliarden von Milliarden Insekten und Vögel starten ab jedem Ort aus dem Stand und landen punktgenau dort, wo sie wollen. Sie kennen keine zentralen Flugplätze, keine Start- und Landebahnen, weder Luftstrassen, GPS noch ATC. Auch Slots sind ihnen fremd. Sie bewegen sich – ausgerüstet mit raffiniertesten, nichts wiegenden Sensoren – genauso souverän im Schwarm wie im Soloflug, bei Tag und Nacht, über kürzeste wie längste Strecken, kommen mit üppigen Beschleunigungen und Turbulenzen klar und beherrschen einen bunten Strauss faszinierender Energiespartricks, von denen wir wohl erst einen kleinen Teil verstehen.» Die Arbeit geht dem 64-jährigen Andreas Reinhard nicht so schnell aus.

## Vom Wasser ans Land

Blättert man etwas durch die gängigste Bionik-Literatur, könnte einen der Eindruck beschleichen, bionische Ansätze seien etwas aus der Mode gekommen. Das mag vor allem daran liegen, dass Ingenieure und andere praktische Wissenschaftler viele interessante Ideen aus der Natur kaum in die Technologie überführen konnten. Aber die Bionik – der Begriff stammt aus den 1960er-Jahren – ist immer noch en vogue. Mit H.R. Gigers Aliens oder der Lego-Reihe *Bionicle* ist das Thema auch in Kunst und Kultur angelangt. Wissenschaftliche und technologische Fortschritte passieren heute eher im Kleinen, im Verborgenen.

Nicht nur ältere Generationen befassen sich mit der Verknüpfung von Biologie und Technologie. Laura Paez doktoriert am Biorobotics Laboratory an der EPFL in Lausanne. Das Bachelorstudium absolvierte sie in ihrer Heimatstadt Bogotá in Kolumbien. Seit einigen Jahren untersucht sie die Fortbewegungsmechanismen von

Schlangen, Salamandern und Ur-Fischen, die begannen, sich an Land zu bewegen. Wir erreichen Paez per Skype.

«Die schlangenförmigen Bewegungen dieser Tiere im Wasser faszinieren mich, dieses fast perfekte, schnelle, äusserst energieeffiziente Schwimmen», sagt die Robotikerin. Es gehe dabei nicht nur darum, diese Bewegungen zu imitieren, wie dies beispielsweise die Biomimetik tut, sondern zu verstehen, wie die Bewegungsabläufe physikalisch funktionieren und wie sie sich im Lauf der Evolution entwickelt haben. Das Rückgrat der Schlangen und Salamander im Wasser bewegt sich oszillierend, also schwingend, eben schlängelnd, während sich das menschliche Rückgrat beim Gehen eher wippend bewegt.

«Wenn wir wissen, warum und wie sich ein Bewegungsapparat entwickelt hat, können wir Schritt für Schritt auch besser nachvollziehen, wie sich der menschliche Bewegungsapparat entwickelt hat.» Vor Millionen von Jahren sind die Tiere vom Wasser ans Land gekommen. Entsprechend haben sich Skelett und Muskulatur vom Schwimmen ans Gehen angepasst. Der Salamander und andere Amphibien stellen hierbei eine Art evolutionäres Bindeglied zwischen den Fischen der Urzeit und dem heutigen Menschen dar.

Der direkte Nutzen neu entwickelter Roboter steht für Laura Paez nicht im Vordergrund ihrer Forschungsarbeit. Sie betreibt Grundlagenforschung. «Vielleicht können unsere Erkenntnisse in Zukunft aber dazu beitragen, beispielsweise bessere Exoskelette zu konstruieren, die sich durch die Oszillatoren natürlicher bewegen können als die heutigen Gehhilfen für gelähmte Menschen.»

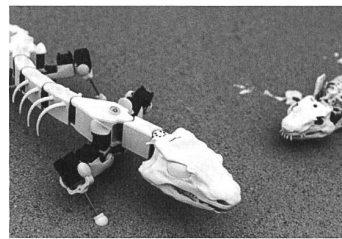
Dass ihre Forschungsergebnisse für militärische Zwecke genutzt werden könnten, ist sich Paez bewusst. Sie versucht dies aber bestmöglich zu vermeiden. In Kolumbien hat die finanziell gutgerüstete Armee in Biorobotik investiert. Ihr Institut hat eine Schlange entwickelt, die als Minensuchgerät hätte eingesetzt werden sollen. Es blieb aber bei den Versuchen. «Natürlich ist es immer so, dass militärische Investoren irgendwann fragen, ob man oben auf dem Roboter auch ein Gewehr montieren könnte. Ich sage dann einfach nein.»

Laura Paez' heutige Forschungen sind vor allem finanziert durch den Schweizerischen Nationalfonds und das weltweit angelegte Human Frontier Science Program. Sie arbeitet mit Biologen aus Kanada und Robotikern aus Japan zusammen. In einem Projekt des Biorobotik-Labors in Lausanne wird zusammen mit Paläontologen versucht, die Gehweise von Urtieren zu rekonstruieren, von denen kaum Skelette erhalten geblieben sind, sondern lediglich Fussabdrücke. Wie haben sich die ersten echsen- oder krokodilartigen Landtiere bewegt und wie beeinflusste die aufrechte oder geduckte Haltung ihre Gehweise? «Das ist ein gutes Beispiel, wie die Robotik nicht nur den Ingenieuren neue Herangehensweisen liefert, sondern auch anderen Wissenschaften wie der Paläontologie oder der Biologie.» In diesem Sinne funktioniert Bionik, oder «Bio-inspirations», wie Paez es nennt, in beide Richtungen. Zur Rekonstruktion natürlicher und Inspiration technologischer Entwicklungen.

Manchmal wünscht sich Paez ein paar mehr Frauen um sich. Bei ihrer Arbeit im sehr männlichen Umfeld fühlt sie sich als Frau allerdings nicht eingeschränkt. Glücklicherweise werde sie an der EPFL gleichbehandelt wie alle anderen. «Ich denke, es ist eine Frage der Kultur, dass gewisse Leute schon im Schulalter in gewisse Wissenschaften gelotst werden. Kulturen können sich ändern.» Manchmal geniessen Männer in Naturwissenschaften mehr Kreditabilität. Dagegen gelte es zu kämpfen. Ebenso wenig möchte sie als Frau bevorzugt werden. Laura Paez will mit Forschungsergebnissen überzeugen. Im besten positivistischen Sinn.



Laura Paez lässt sich von einer Roboterschlange umgarnen.



Die Fussabdruck-Echsenroboter, entwickelt am Biorobotics Laboratory an der EPFL in Lausanne.



Der Salamander-Roboter bewegt sich an Wasser ebenso elegant wie an Land.

(Bilder: pd)

Toni Bürgin, Peter Herger, Walter Künzler & Dennis Vallan: *HiTech-Natur – Drei Museen, drei Ausstellungen – Begleitbroschüre zu den drei Ausstellungen «Wachsen und bauen», «Alles in Bewegung» und «Von Sinnen»*, Naturmuseum St.Gallen, Luzern und Solothurn, 2000.

Werner Nachtigall & Alfred Wisser: *Bionik in Beispielen – 250 illustrierte Ansätze*, Springer-Verlag, Berlin 2013.

Werner Nachtigall: *Bionik als Wissenschaft – Erkennen, Abstrahieren, Umsetzen*, Springer-Verlag, Berlin 2010.