Bionik: Die Natur als Vorbild

Haut von Gecko , Bild: Pixabay, CC0

Der Begriff Bionik setzt sich aus den beiden Wörtern Biologie und Technik zusammen. Dementsprechend gestaltet sich auch das relativ junge und interdisziplinäre Forschungsfeld der Bionik: Strukturen und Prozesse in der Natur werden beobachtet und analysiert. Pflanzen und Tiere demonstrieren oft vorbildlich, wie bestimmte Herausforderungen am einfachsten und effizientesten bewältigt werden können. Die Erkenntnisse daraus und somit die Konzepte aus der Natur werden in technische Anwendungen und Lösungsstrategien umgewandelt.

Oft werden die Begriffe Bionik und Biomimikry gleichbedeutend verwendet. Genaugenommen lassen sie sich allerdings schon voneinander differenzieren: Während Fachleute bei Bionik in der Regel von konkreten Einzellösungen sprechen, bezieht sich Biomimikry eher auf die Nachahmung ganzer natürlicher Systeme. Dabei wird bei der Biomimikry nicht nur eine einzelne Technik übernommen, sondern ein umfassendes ökologisches Prinzip nachgebildet.

Kleine Geschichte der Bionik

Der italienische Erfinder **Leonardo da Vinci** gilt als Pionier der Bionik. Im Jahr 1505 veröffentlichte er sein Manuskript „Über den Vogelflug“ und verwendete seine Erkenntnisse aus der Beobachtung der Tiere für den Entwurf von Flugmaschinen nach dem Vorbild von Vögeln und Fledermäusen. Auch einen Hubschrauber konstruierte da Vinci, bei dem ihm die Frucht des Schneckenklees als Vorlage diente.
Die erste bionische Erfindung in Deutschland wurde im Jahr 1920 von **Raoul Heinrich Francé** patentiert: Ein Salz- oder Gewürzstreuer mit seitlichen Öffnungen. Francé orientierte sich dafür an der Samenkapsel des Mohns.
Im Jahr 1951 entwickelte und patentierte der Schweizer Ingenieur **Georges de Mestral** den Klettverschluss unter dem Namen „Velcro“ (von franz. velours – Samt, crochet – Haken). Das Haftprinzip biegsamer Widerhaken hatte sich der Jäger vom Kletten-Labkraut abgeschaut, die er nach Jagdausflügen immer wieder aus dem Fell seines Hundes entfernen musste.

Die Widerhaken der Klette dienten als Inspiration für den Klettverschluss, Bild: Pixabay, CC0

In den 1950er Jahren prägte **Otto Schmitt** den Begriff „biomimetics“ bzw. „biomimicry“. Er beschrieb damit die „Nachahmung von Leben" (von altgriech. Bios – Leben, mimesis –Nachahmung) – also im Prinzip das, was heute im deutschsprachigen Raum unter dem Begriff Bionik verstanden wird.
Der deutsche Begriff Bionik geht jedoch ursprünglich auf die Bezeichnung „bionics“ zurück, welche 1960 vom US-amerikanischen Arzt und Air Force Colonel **Jack E. Steele** auf einer Konferenz erstmals verwendet wurde.[1] Im englischen Sprachraum begrenzt sich dieser Begriff zumeist auf die Konstruktion von künstlichen Körperteilen.

Anwendungsgebiete der modernen Bionik

Die Natur beeindruckt uns immer wieder mit ihrem riesigen Repertoire an Farben und Formen. Die Vielfalt der Lebewesen auf unserem Planeten ist allerdings nicht zufällig, sondern durch einen langen Evolutionsprozess über 3,8 Milliarden Jahre hinweg entstanden, und oft sind funktionale Wunderwerke das Ergebnis. Die Bionik hat dies erkannt und versucht, sich für technische Fragestellungen an oftmals genialen Lösungen der Natur zu orientieren und betrachtet Lebewesen mit dem Blick von Techniker:innen.

Die sogenannte **Analogieforschung** versucht, die Lösung eines technischen Problems durch geeignete Vorbilder in der Natur zu finden. Analogien in der Natur werden gesucht, diese werden analysiert, und schließlich wird an Lösungen für das Problem getüftelt. Die Gebiete, auf denen es großes Potential für Bionik und Biomimikry gibt, sind weitreichend. Der deutsche Zoologe Werner Nachtigall, einer der Pioniere der Bionik, gliederte die Bionik in die drei übergeordneten Disziplinen Konstruktionsbionik, Verfahrensbionik und Informationsbionik, innerhalb derer sich wiederum viele Fachrichtungen finden[1]. Beispiele dafür, wo die Trickkiste der Natur als Vorbild dient und die Bionik heute bereits Anwendung findet, sind unter anderem:

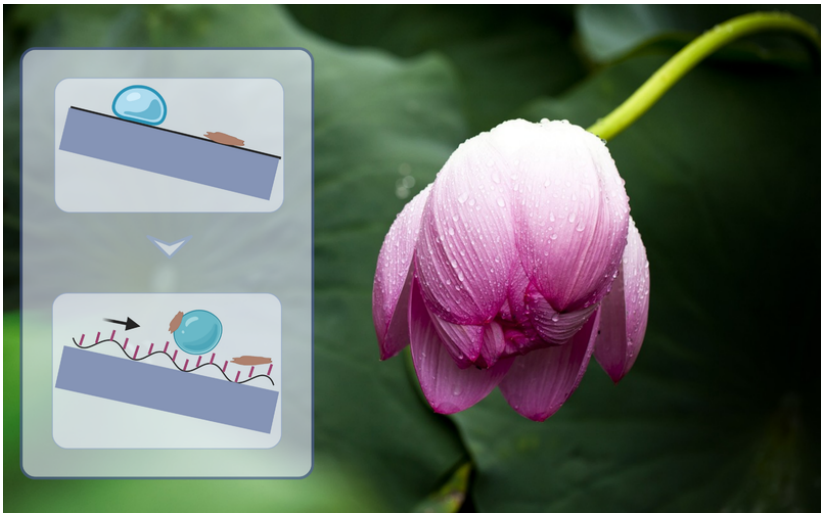
- Oberflächendesign
- Konstruktion von Maschinen

- Bauwesen und Architektur
- Transportwesen
- Verbundmaterialien
- Robotik [2]

Der Artikel liefert im weiteren Verlauf einen Überblick über konkrete Anwendungsbereiche in den verschiedensten Sektoren.

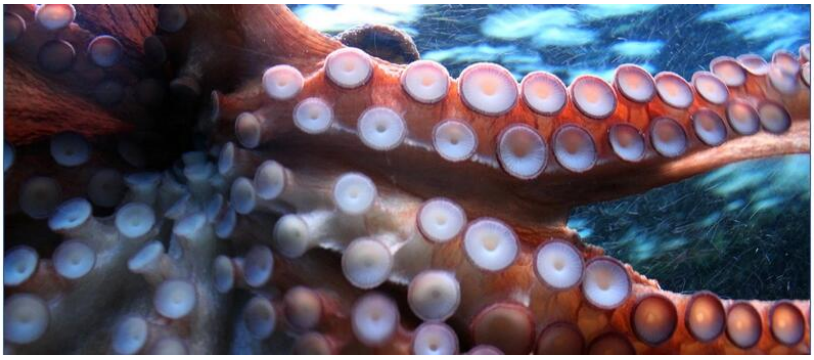
Oberflächendesign

- **Der Lotuseffekt zur Selbstreinigung:** Der deutsche Botaniker Wilhelm Barthlott entdeckte Mitte der 1970er Jahre den so genannten Lotuseffekt. Dieser beschreibt die bemerkenswerte Fähigkeit von Lotusblumen, aber auch vielen anderen Pflanzen, sich selbst von Wasser und Schmutzpartikeln zu reinigen. Der Lotuseffekt lässt sich durch die besondere Struktur der Blattoberfläche erklären: Obwohl sie auf den ersten Blick glatt aussieht, ist die Oberfläche uneben, da sie mit feinen Wachsnoppen bedeckt ist. Diese bestehen aus Wachskristallen, die eine wasserabweisende Eigenschaft haben. Aufgrund dieser Noppen entsteht eine verringerte Kontaktfläche, auf welcher Schmutzpartikel schlechter haften können – man spricht dabei von verringerten Adhäsionskräften. Ähnlich funktioniert es mit Wassertropfen. Dadurch, dass die Wachse an der Oberfläche zusätzlich wasserabweisend (hydrophob) sind, bilden sich kugelförmige Tropfen. Diese perlen leicht ab und transportieren dabei auch noch die Schmutzpartikel ab. Der Lotus-Effekt kommt heute bei schmutzabweisenden Lacken, Farben, Fassadenputz und verschiedensten weiteren Oberflächenbeschichtungen zum Einsatz.[3]



Der selbstreinigende Lotus-Effekt: Im Gegensatz zu glatten Oberflächen, haben einige Pflanzen eine unebene, wasserabweisende Schicht, wodurch Schmutz leichter durch Wassertropfen abtransportiert werden kann., Bild: Pixybay CC0, bearbeitet von Open Science mit Biorender.com

- **Klebstoffe aus der Natur:** Auch das mechanische Haftungsvermögen von Geckos, Libellen und Spinnen hat Bioniker:innen inspiriert. Die Füße der Tiere sind mit vielen feinen Haaren bedeckt, und diese geniale Erfindung der Natur wurde bereits zur Entwicklung von Klebstoffen nachgeahmt, zum Beispiel bei wiederverwendbaren Klebepads.[2]
- **Haftmaterial unter Wasser und an feuchten Oberflächen:** Um unter Wasser haften zu können, sondern Muscheln einen speziellen Eiweißkleber ab. Die chemischen Strukturen des Klebers dienen als Vorbild bei der Abdichtung von Schiffen unter Wasser, aber auch für innovative Klebstoffe in der Medizintechnik.
  Materialforscher:innen haben mittlerweile auch den Hafteffekt von Kraken kopiert. Dabei wurde die filigrane Mikrostruktur der Saugnäpfe imitiert, womit sich Kraken an Steinen im Wasser festhalten können. Wissenschaftler:innen konnten an den Saugnäpfen den Tentakeln zusätzliche winzige Auswölbungen (15-500 Mikrometer) erkennen, welche sie mit einer flexiblen Kunststofffolie nachbildeten. Dadurch lässt sich eine sehr hohe Haltekraft an feuchten Oberflächen erzeugen, was sich mit zwei Effekten erklären lässt: Zum einen entsteht ein Vakuum, wenn die Luft aus den kuppelförmigen Mulden entweicht. Zum anderen verstärken Kapillarkräfte die Haftung, indem sie eine zusätzliche Anziehungskraft zwischen den Materialien in den Mulden erzeugen. Dieser Mechanismus findet bereits in zahlreichen Bereichen Anwendung, etwa in der Unterwasserrobotik, bei Robotern die mit empfindlichen Lebensmitteln arbeiten, sowie in der Medizintechnik bei Pflastern für entzündete und nässende Wunden.[4]



Saugnäpfe für besseren Halt, Bild: Pixabay, CC0

- **Antifouling-Oberfläche gegen Schiffsbewuchs:** Ein Bewuchs von Schiffen aus Muscheln, Algen und Seepocken vergrößert deren Reibungswiderstand im Wasser und somit auch den Treibstoffverbrauch. Nach dem Vorbild von Delfinhaut, die

durch ihre physikalischen Eigenschaften vor diesem Befall geschützt ist, wurden „Antifouling“-Farben für einen Anstrich von Schiffen entwickelt.[5]

- **Haifischhaut zum Schwimmen:** Die Untersuchung der Hautschuppen von Haifischen führte zur Entwicklung weiterer Oberflächenmaterialien: Die feinen Rillen der Haifischhaut reduzieren die Reibung und werden bei künstlich hergestellten Folien zur Verkleidung von Flugzeugen, sowie für die Fertigung von Schwimmanzügen für Hochleistungssportler:innen imitiert.[6]

Flugverkehr

Auch die Luftfahrt kann von der Natur lernen. Die Bionik hat das Fliegen überhaupt erst ermöglicht – Leonardo da Vinci hat mit seinen Flugmaschinen Pionierarbeit geleistet.

- **Flugzeugbau:** Heute fließen hier bereits verschiedenste bionische Konzepte mit ein. So dienen beispielsweise Vogelknochen als Vorbild für ein gewichtsoptimiertes Design, das trotzdem die nötige Stabilität bietet. Das Flügelprofil ist in der Luftfahrt Vogelflügeln nachempfunden, unter anderem um optimalen Auftrieb zu haben. Es wurde sogar schon ein Flugzeug gebaut, das mit den Flügeln schlagen kann – ein so genannter Ornithopter. Diese Flugmaschine konnte sich jedoch nicht durchsetzen.
- **Gleitflieger und Fallschirme:** Bei der Konstruktion dieser Flugobjekte wurde das Prinzip von Pflanzensamen nachgeahmt.[1]

Bauen und Architektur

In der Bau- oder Architekturbionik, werden Phänomene aus der Natur für Architektur und technische Funktionen von Gebäuden angewendet.

- **Baumstützen:** Beim Bau des Stuttgarter Flughafens kamen spezielle Träger zum Einsatz, die als sehr filigrane Konstrukte nach dem Vorbild der Bäume eines Waldes entstanden.
- **Lüftungssystem der Termiten:** Das Prinzip der Lüftung von Termitenbauten wurde für Lüftungselemente von Bürogebäuden nachempfunden. Durch das Anlegen von Luftschächten, die ähnlich wie in einem Termitenbau zusammenhängen, können Gebäude fast ohne Heizung und Belüftungsanlage auf einer konstanten Innentemperatur gehalten werden.

- **Leichtbauweise:** Auch für die Leichtbauweise von Gebäuden dient die Natur als wichtiger Ideenlieferant. Erkenntnisse aus dem Knochenbau werden für die moderne Leichtbauweise genutzt. Werden Stahlträger in Gebäuden nach dem Prinzip von Knochenbalken und Hohlräumen in Knochen angeordnet, kann besonders materialsparend gebaut werden. Ein prominentes Beispiel für diese spezielle Leichtbauweise ist der Eiffelturm in Paris.[1]
- **Pumpen in Leitungen:** In Wasserleitungen oder Erdöl-Pipelines geht aufgrund der Reibung zwischen Rohr und Flüssigkeit oft viel Energie verloren. Durch pulsierendes Pumpen, ähnlich dem Pulsieren des menschlichen Herzens, können durch zusätzlich induzierte Ruhephasen Turbulenzen vermindert werden. Forscher:innen vom Institute of Science and Technology Austria (ISTA) in Klosterneuburg konnten mit diesem Prinzip die Effizienz beim Pumpen von Flüssigkeiten steigern.[7]

Verbundmaterialien und Verpackungen

- **Hartes und bruchsicheres Perlmutt:** Nach dem Vorbild des natürlichen Perlmutts – dem inneren Schalenmaterial vieler Muscheln – konnte ein künstlicher Verbundstoff entwickelt werden. Perlmutt ist ähnlich wie eine Ziegelmauer aufgebaut: harte aber spröde Mineralplättchen (wie die Ziegel) werden von weichen, organischen Zwischenschichten (ähnlich dem Mörtel) stabilisiert. Wie das Original besteht auch der entwickelte Werkstoff aus solchen Komponenten und erweist sich als außergewöhnlich hart, bruchfest und zäh.
- **Krebspanzer für Schutzkleidung und Panzermaterialien:** Der Mantis-Shirmp ist bekannt für den härtesten Schlag im Tierreich (bis zu 80 km/h). Er besitzt eine extrem harte Schutzschicht in seinen Fäusten, die selbst dem heftigsten Aufprall standhalten. Die Struktur besteht aus drei Schichten und wurde nun für Schutzkleidung und Materialien zum Panzern nachempfunden. Sie sind hart und vor Rissen und Brüchen geschützt.[8]
- **Baumrinde, Nuss- und Eierschalen als Verpackungsmaterial:** In Zeiten der Klimakrise ist auch das Thema Plastik hochaktuell, und es wird vielerorts nach nachhaltigen Alternativen fürs Verpacken gesucht. Die Natur zeigt uns dabei, wie man Verpackungen umweltgerecht und innovativ gestalten kann. Hier könnten Bäume beziehungsweise deren Rinde weiterhelfen: Diese kann durch ihre faserige Struktur mit vielen Hohlräumen mit geringem Gewicht, einem hohen Gehalt an Tannin, welches der Abwehr von Schädlingen dient, Wärme- und Kälteabwehr, Schutz vor ultravioletter Strahlung sowie Materialtransport für Nährstoffe und Abfallstoffe punkten. Auch Nuss- und Eierschalen sind bemerkenswerte natürliche

Verpackungssysteme und schützen das Innere vor Stößen und Temperatureinflüssen. Naturstoffe wie Zellulose dienen als Vorbilder für biologisch abbaubare Verpackungsmaterialien als Alternative zu Plastikfolien. Die Wabenstruktur von Bienenwaben wird ebenfalls in der Verpackungsindustrie imitiert. Ihre charakteristische sechseckige Form verleiht Verpackungsmaterialien wie Kartons eine hohe Stabilität bei geringem Gewicht.[9]

Robotik und Sensorik

Auch natürliche Bewegungsabläufe von Tieren und Menschen werden analysiert und liefern Ideen für technische Anwendungsmöglichkeiten, beispielsweise als Vorbild für Roboter.

- **Wahrnehmung:** Die Kenntnis der 3D-Wahrnehmung von Gottesanbeterinnen ist bereits in die Konstruktion einer speziellen Roboter-Navigation eingeflossen.
- **Fortbewegen wie die Tiere:** Es gibt auch schon Roboter, die wie Fische schwimmen und sich nahezu lautlos im Wasser bewegen, oder die wie Spinnen krabbeln, um instabile oder vertikale Flächen zu begehen. Forscher:innen an der Universität in Graz nahmen dabei zusätzlich die Krallen von Milben zum Vorbild, welche sich je nach Untergrund unterschiedlich stark krümmen können.[10] Auch Roboter, die mit Saugnäpfen – ähnlich wie Schnecken – schwere Lasten senkrechte Wände hochtransportieren können, wurden bereits entwickelt. Anstelle von Schneckenschleim wird Wasser eingesetzt. Diese Art von Robotern ist besonders energieeffizient.[11]
- **Roboter mit Tastsinn:** Auch einen Roboterarm, der fühlen kann, gibt es bereits. Um den menschlichen Tastsinn bestmöglich zu imitieren, ist dieser ist mit hochsensiblen Sensoren ausgestattet, welche diverse Funktionen und feinere Bewegungen ermöglichen. An fühlenden Robotern, die beispielsweise die Logistik oder auch die Pflege unterstützen können, wird aktuell viel geforscht.

Biomedizin

Das Beobachten von Abläufen in der Natur hat auch in der Biomedizin zu zahlreichen Neuerungen geführt.

- **„Bionische“ Prothesen:** Diese bieten heute erweiterte Funktionen wie sensorische Rückkopplung, erweitere Bewegungsmöglichkeiten, eine möglichst intuitive Steuerung

der Bewegungen und eine natürliche Ästhetik.
In der Forschung werden Prothesen, der Natur angelehnt, laufend weiterentwickelt. Die MedUni Wien entwickelte weltweit die erste bionische Arm-Prothese, welche ohne vorheriges Training sofort einsetzbar ist.[12] Weiters wird aktuell an Prothesen für eine verbesserte Wahrnehmung geforscht, damit Patient:innen diese so spüren und wahrnehmen können, als würden sie zum eigenen Körper gehören.[13]

Prothesen ermöglichen eine immer bessere Wahrnehmung, Bild: Pixabay, CC0

- **Orthesen:** Orientiert an den Muskelbewegungen werden von der Medizinischen Universität in Innsbruck aktuell Orthesen entwickelt, um verletzte Gliedmaßen zu unterstützen und zu stabilisieren. Im Gegensatz zu herkömmlichen starren Getrieben, werden durch muskelähnliche, stufenlose Getriebe eine hohe Haltekraft sowie schnelle Bewegungen ermöglicht.[14]
- **Spinnenseide:** Spinnenseide ist nicht nur elastisch, reißfest und hitzestabil, sondern wird auch kaum von Bakterien und Pilzen angegriffen. Diese besonderen Eigenschaften sollen nun auch in der Medizin zu großen Fortschritten führen, da die Spinnenseide auch für den menschlichen Körper gut verträglich ist. Wissenschaftler:innen arbeiten daher an verschiedenen klinischen Anwendungen. So soll Spinneneide als chirurgischer Faden, zur Reparatur beschädigter Nerven oder zur Kultivierung von Brandwunden eingesetzt werden.[15]

Weiteres Potenzial und Perspektiven

Bionik und Biomimikry bieten vielversprechende Ansätze zur Lösung aktueller gesellschaftlicher und technischer Herausforderungen. So etwa wird das Verhalten von Tieren – wie beispielsweise Bienen, Ameisen oder Vögeln – in Gruppen untersucht, um deren kommunikatives Verhalten zu verstehen. Diese Erkenntnisse können Anwendung in der Optimierung von Logistiksystemen, Verkehrsflüssen oder der Steuerung

autonomer Fahrzeuge finden. Beispielsweise orientieren sich moderne Algorithmen für selbstfahrende Autos bereits an solchen Schwarmverhalten, um effizientes Verhalten im Straßenverkehr zu ermöglichen. Auch für ressourcenschonende Materialkreisläufe, Abfallvermeidung und die Entwicklung widerstandsfähiger Systeme liefert die die Natur wertvolle Impulse.

Fortschritte in der Technologie – insbesondere im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) – eröffnen zusätzlich neue Möglichkeiten für innovative bionische Anwendungen. Selbst viele KI-Systeme sind von biologischen Prozessen inspiriert. So werden etwa Informationen nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns verarbeitet oder visuelle Fähigkeiten von Insekten nachgebildet.

Der Fortschritt durch Bionik und Biomimikry weckt große Hoffnung für eine nachhaltige Zukunft. Gleichzeitig gibt es auch kritische Stimmen: Vor allem der Nachbau von Roboter(teilen) nach Vorbild des Menschen wird oft nicht nur mit Faszination, sondern auch mit Skepsis verfolgt. Roboter können heute beispielsweise bereits komplexe Handlungen wie das Greifen und Orientieren eines Gegenstands selbst erlernen. Diese Entwicklungen eröffnen nicht nur neue technologische Möglichkeiten, sondern geben auch Denkanstöße für weiterführende ethische und gesellschaftliche Diskussionen und Untersuchungen.

In unserem Bionik-Quiz können Sie gleich Ihr Wissen zu diesem Thema testen!

Text überarbeitet, 10.07.2025, nr

as, 23.12.2019

Quellenangaben

1. Nachtigall, W. Bau-Bionik. Springer Berlin Heidelberg (2003). doi:10.1007/978-3-662-05991-3.

2. Akademie, Ö. & Wissenschaften, D. Bionik-Potenzial in Österreich Endbericht. (2006).

3. Barthlott, W., Cerman, Z. & Stosch, A. K. Der Lotus-Effekt: Selbstreinigende Oberflächen und ihre Übertragung in die Technik. Biol. Unserer Zeit34, 290–296 (2004).

4. Baik, S. et al. A wet-tolerant adhesive patch inspired by protuberances in suction cups of octopi. Nature 546, 396–400 (2017).

5. Baum, C., Siebers, D., Fleischer, L. G. & Meyer, W. Eine Delfinhaut

für Schiffe: Umweltneutrales Antifouling. Biol. Unserer Zeit34, 298–305 (2004).

6. Krieger, K. Do pool sharks swim faster? Science305, 636–637 (2004).

7. Scarselli, D., Lopez, J. M., Varshney, A. & Hof, B. Turbulence suppression by cardiac-cycle-inspired driving of pipe flow. Nature621, 71–74 (2023).

8. Weaver, J. C. et al. The stomatopod dactyl club: A formidable damage-tolerant biological hammer. Science (80-.).336, 1275–1280 (2012).

9. Anlauf, D. Verpackungen in Natur Und Technik. Bionische Materialien Und Werkstoffe. (Technik, 2020).

10. Pfingstl, T., Kerschbaumer, M. & Shimano, S. Get a grip-evolution of claw shape in relation to microhabitat use in intertidal arthropods (Acari, Oribatida). PeerJ2020, e8488 (2020).

11. Yue, T., Bloomfield-Gadêlha, H. & Rossiter, J. Snail-inspired water-enhanced soft sliding suction for climbing robots. Nat. Commun. 2024 15115, 1–10 (2024).

12. Ortiz-Catalan, M., Mastinu, E., Sassu, P., Aszmann, O. & Brånemark, R. Self-Contained Neuromusculoskeletal Arm Prostheses. N. Engl. J. Med.382, 1732–1738 (2020).

13. Festin, C. et al. Creation of a biological sensorimotor interface for bionic reconstruction. Nat. Commun. 2024 15115, 1–15 (2024).

14. Medizinische Universität Innsbruck. Bionische Forschung an der Medizinischen Universität Innsbruck, am 02.07.25

15. Semmler, L. et al. Silk-in-Silk Nerve Guidance Conduits Enhance Regeneration in a Rat Sciatic Nerve Injury Model. Adv. Healthc. Mater.12, (2023).