



Co-funded by
the European Union

Biomimikry: Innovation und Design inspiriert von der Natur



BIO54YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





INHALTSVERZEICHNIS

· Einleitung.....	2
· Modul Entdecken: Der theoretische Rahmen der Biomimikry.....	3
· Wie können wir biologisches Wissen anwenden?.....	7
· Was ist die Methode des bioinspirierten Designs?.....	8
· Augmented Reality (AR) in der Biomimikry-Ausbildung.....	9
· Modul „Ausführen“: Bioinspirierter Designprozess mit Augmented Reality (AR).....	12
· Biomimetische Designpraxis, erweitert durch AR.....	12
· Erweiterungsmodul (Projektbeispiele für den Einsatz von AR-Tools in der Biomimikry-Ausbildung).....	16
· Fazit.....	28
· Referenzen.....	29





Allgemeines Thema des Lernpfads	Biomimikry: Innovation und Design inspiriert von der Natur
Spezifischer Name der Lerneinheit	Bio-Design und Innovation
Zielgruppe	14–18 Jahre
Voraussetzungen für Lernende	Grundkenntnisse in Chemie, Biologie, Physik
Beschreibung der Lerneinheit	Diese Einheit zeigt Lehrern und Schülern, wie sie die Natur in einem fächerübergreifenden Lernpfad nutzen können. AR-Tools verbessern die Visualisierung und das Engagement.
Beteiligte Fächer	Physik, Chemie, Biologie, Mathematik
Stichworte	Biologie, bioinspiriert, Biomimikry, Biodesign, Innovation, AR, Visualisierung, interaktives Lernen
Erwerbbare Schlüsselkompetenzen, Fähigkeiten und Kenntnisse	Erforschung der Natur und ihrer Fähigkeit, nachhaltige Verbesserungen in unserer Umwelt anzuregen, Problemlösung, innovatives Design, AR-basierte Prototyping-Fähigkeiten.
Verwendete Ressourcen und didaktische Hilfsmittel	Forschungsarbeiten, Bücher, wissenschaftliche Datenbanken, Webinar-Ergebnisse, webbasierte Ressourcen, AR-Tools (z. B. JigSpace, Assemblr EDU, Merge Cube, CoSpaces Edu).
Bewertungskriterien und Beurteilung	Basierend auf den während des Kurses erworbenen Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, einschließlich AR-basierter Bewertungen wie Simulationen, Prototyping und Feedback.





Einführung

Bioinspiriertes Design ist ein relativ neuer Begriff. Weiter verbreitete Begriffe sind Biomimetik und Biomimikry. Bioinspiriertes Design wurde zur Entwicklung innovativer technischer Lösungen in fast allen Bereichen des Ingenieurwesens eingesetzt. Als Mitte des 20. Jahrhunderts die Idee der systematischen Analyse biologischer Systeme als Bionik aufkam, lag der Schwerpunkt auf Steuerungs- und Kommunikationssystemen (Keto 1960). Keto (1960) schlug vor, bioinspirierte Steuerungs- und Kommunikationssysteme in der Elektronik, Luftfahrt und Navigation einzusetzen. Historische Beispiele für bioinspiriertes Design umfassen jedoch bereits weitere Anwendungsbereiche. So wurde beispielsweise die Aerodynamik biologischer Systeme häufig als Vorbild für die Konzeption von Fallschirmen oder frühen Flugmaschinen herangezogen (Nachtigall und Wisser 2015, S. 6). Moderne Beispiele für bioinspiriertes Design finden Anwendung in technischen Bereichen wie Maschinenbau, Architektur, Industriedesign, Softwareentwicklung, Robotik, Medizintechnik und so weiter.

Die Integration von Augmented Reality (AR) revolutioniert diesen Prozess, indem sie Lernenden die Interaktion mit biologischen Systemen in immersiven 3D-Umgebungen ermöglicht. Mit AR-Tools können Studierende biomimetische Prozesse visualisieren, reale Anwendungen simulieren und an innovativen Projekten zusammenarbeiten. Diese Verbindung von Technologie und Natur fördert das Verständnis, die Kreativität und die Problemlösungskompetenz in der MINT-Bildung.

Trotz seines hohen Innovationspotenzials birgt die Anwendung von bioinspiriertem Design Herausforderungen. Wesentliche Herausforderungen sind disziplinäre Barrieren, d. h. die Ziele, Arbeitsansätze und die Tatsache, dass sich die Sprache der Biologie und der technischen Produktentwicklung grundlegend unterscheiden. Die Biologie ist eine Naturwissenschaft; ihr Ziel ist es, lebende Systeme zu verstehen. Die technische Produktentwicklung oder das technische Design zielt darauf ab, technische Systeme zu entwickeln. Der Unterschied zwischen dem biologischen Ziel des Verstehens und dem technischen Ziel der Entwicklung spiegelt die unterschiedlichen Arbeitsansätze von Biologen und Ingenieuren wider. Dieser Konflikt verursacht häufig Probleme beim bioinspirierten Design.

10 erstaunliche Aspekte des bioinspirierten Designs	Spezifikation
Fülle biologischer Lösungen	Bietet einen riesigen Pool an möglichen Lösungen für technische Probleme. Digitale Datenbanken bieten Zugang zu mehreren Tausend biologischen Inspirationen.
Optimierung	Ein biologisches System wird optimiert, das bioinspirierte Design wird ebenfalls optimiert.
Synergieeffekte und Transdisziplinarität	Die technische Biologie ist eine Voraussetzung für bioinspiriertes Design
Integration von Material, Form und Funktion	Form folgt Funktion: Biologische Systeme realisieren Funktionen oft auf mehreren



	Ebenen, indem sie sowohl die Eigenschaften von Verbundwerkstoffen und Formen.
Entdeckungen jenseits des Menschlichen	Viele biologische Lösungen mit hohem Potenzial für technische Anwendungen
Flexibilität bioinspirierten Designs	Flexibler Designansatz Breites Anwendungsspektrum Verschiedene Designmethoden
Nachhaltigkeit (oder nicht?)	Umweltfreundlich
Biodiversität	Bioinspiriertes Design kann eine positive gesellschaftliche Auswirkungen haben
Biologisierung	Die traditionellen Naturwissenschaften neben den technischen und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen befassen sich mit einigen der größten Herausforderungen: Energieverbrauch und nachhaltige Wirtschaft
Multifunktionalität biologischer Systeme	Biologische Systeme müssen mit begrenzten Ressourcen mehrere Funktionen erfüllen

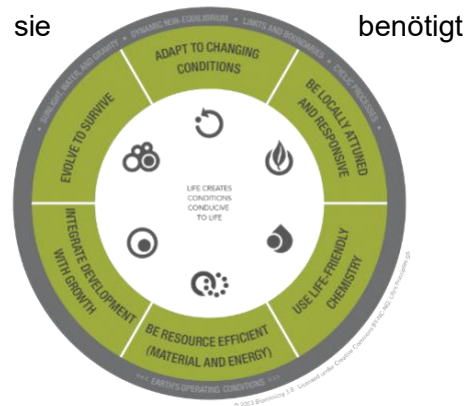
Tabelle 1. 10 erstaunliche Aspekte bioinspirierten Designs (Hashemi Farzaneh, 2019)

Der theoretische Rahmen der Biomimikry:

• Prinzipien der Biomimikry

Die Prinzipien der Biomimikry konzentrieren sich ausschließlich auf die Eigenschaften der Natur und implizieren damit, dass Menschen viel aus der Milliarden Jahre alten Evolutionserfahrung der Natur lernen können.

- a- Die Natur verbraucht nur die Energie, die sie
- b) Die Natur passt die Form an die Funktion an
- c- Die Natur recycelt alles
- d) Die Natur setzt auf Vielfalt
- e- Die Natur erfordert lokales Fachwissen.



• Bio-Design-Aktivitäten:



Bio-inspirierte Designmethoden unterstützen verschiedene Aktivitäten:

- Planung
- Abstraktion
- Suche
- Analyse und Vergleich
- Transfer



Die Planung eines bioinspirierten Designprojekts und anderer technischer Produktentwicklungsprojekte oder die Planung biologischer Forschungsprojekte unterscheiden sich voneinander. Der interdisziplinäre Charakter des bioinspirierten Designs stellt eine Herausforderung für den Designprozess dar, und es kann unterschiedliche Ausgangspunkte für das Projekt geben. Wenn Biologen und Ingenieure zusammenarbeiten, muss darüber hinaus die Integration ihrer Arbeit berücksichtigt werden. Auch die Abstraktion ist ein wesentlicher Bestandteil des bioinspirierten Designs. Tatsächlich müssen Designer während eines bioinspirierten Designprojekts immer wieder abstrahieren: Sie müssen eine technische Aufgabe abstrahieren oder die Suche nach biologischer Inspiration ermöglichen. Sie müssen technische und biologische Systeme abstrahieren, um sie vergleichbar zu machen. Sie müssen erneut abstrahieren, um Analogien für den Transfer zu formulieren ... und so weiter. Die Suche, insbesondere die Suche nach biologischer Inspiration, wird durch zahlreiche Methoden für bioinspiriertes Design behandelt. Sie ist eine Schlüsselaktivität, wenn ein bioinspiriertes Designprojekt aus rein technischer Sicht (technische Aufgabe, Suche nach biologischer Inspiration) oder aus streng biologischer Sicht (interessante biologische Lösung, Suche nach technischer Anwendung) begonnen wird.

Designer müssen sowohl technische als auch biologische Systeme sorgfältig analysieren und vergleichen, um bioinspiriertes Design erfolgreich anzuwenden. Es gibt zahlreiche Beispiele, bei denen bioinspirierte Designs in der Prototypenphase scheiterten, weil die biologische Lösung in einer technischen Umgebung nicht angewendet werden konnte. Ein Beispiel ist der Versuch eines Studentenprojekts, die Flagellenbewegung von Bakterien in viel größerem Maßstab nachzuahmen. Aufgrund der unterschiedlichen Einflüsse von Flüssigkeitskräften konnte die rotierende Flagellenbewegung Flüssigkeiten nicht effektiv bewegen. Letztendlich ist die Übertragung bioinspirierter Analogien die Kernaktivität des bioinspirierten Designs. Alle bioinspirierten Designprojekte zielen darauf ab, mehr oder weniger abstrakte Analogien zu übertragen, um eine technische Lösung zu entwickeln.



Allerdings umfassen bioinspirierte Designprojekte natürlich noch viele andere Aktivitäten. Diese Aktivitäten sind jedoch nicht spezifisch für bioinspiriertes Design, da sie auch in anderen technischen Produktentwicklungsprojekten oder in biologischen Forschungsprojekten vorkommen.

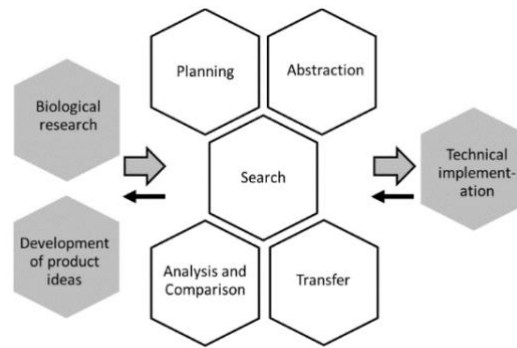


Abbildung 1. Bioinspiriertes Design: spezifische und andere Aktivitäten (Hashemi Farzaneh, 2019)

• Bioinspirierte Designansätze

Auch wenn sich die meisten bioinspirierten Designprojekte und -kurse auf den Technology-Pull-Ansatz konzentrieren, behaupten einige Forscher, dass der Biology-Push-Ansatz innovativer ist. Beim Technology-Pull-Ansatz beginnen Designer mit einer technischen Aufgabe. Diese umfasst eine vordefinierte Reihe von Anforderungen und gewünschten Funktionen. Sie halten sich an diese Randbedingungen, sind jedoch relativ frei in der Betrachtung verschiedener biologischer Systeme. Daher können sie offener für die Übertragung verschiedener Analogien aus unterschiedlichen biologischen Systemen sein. Bei einem Biology-Push-Ansatz beginnen Designer mit einem vordefinierten biologischen System. Sie analysieren dieses System möglicherweise im Detail und beschränken ihre Analyse eher auf dieses System, anstatt nach anderen biologischen Systemen zu suchen. Allerdings sind sie wahrscheinlich offener für die Suche nach mehreren technischen Anwendungen. Darüber hinaus können multifunktionale biologische Systeme multifunktionale technische Systeme inspirieren.



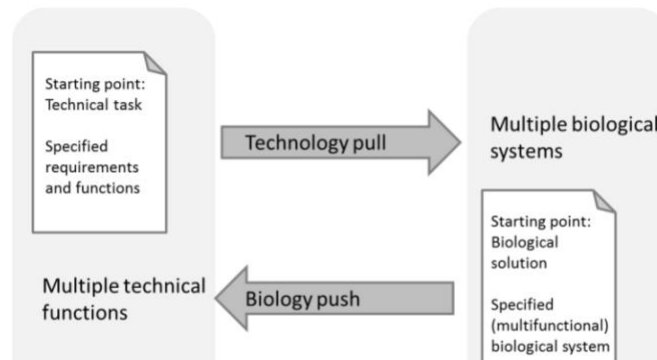
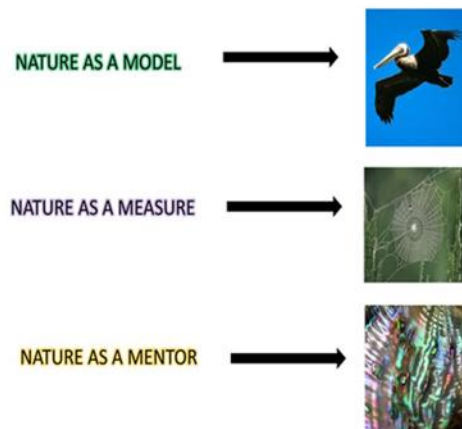


Abbildung 2. Bioinspirierte Designansätze: Technologie-Pull und Biologie-Push (Hashemi Farzane, 2019)

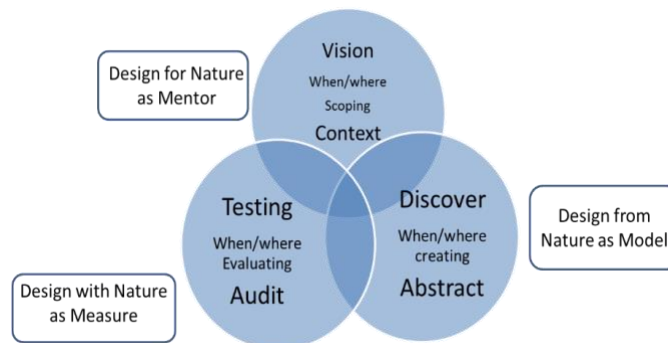
• Ebenen der Biomimikry

Es gibt drei Ebenen der Biomimikry, die auch auf Designprobleme angewendet werden müssen. Aus den biomimetischen Technologien und Techniken geht klar hervor, dass es drei Ebenen der Nachahmung gibt: die Organismusebene, die Verhaltensebene und die Ökosystemebene. **Die Organismusebene** veranschaulicht die Nachahmung bestimmter Organismen oder die Nachahmung eines Teils des gesamten Organismus, wobei Gebäude auf der Organismusebene einen bestimmten Organismus nachahmen. **Die zweite Ebene ist die Nachahmung des Verhaltens jedes Organismus.** Gebäude ahmen das Verhalten eines Organismus oder seine Beziehung zu seinem größeren Kontext nach. **Die dritte Ebene ist die Nachahmung des gesamten Ökosystems.** Diese Ebene gilt als die schwierigste, da sie sich auf eine funktional sehr schwer nachzuahmende Frage konzentriert: Ein Gebäude ahmt den natürlichen Prozess und Kreislauf der größeren Umgebung nach. Auf jeder Ebene gibt es fünf Dimensionen, die bestimmen, in welchem Umfang die Nachahmung stattfindet. Das Design wird als Biomimikry in Bezug auf sein Aussehen (Form), seine Zusammensetzung (Material), seine Herstellung (Konstruktion), seine Funktionsweise (Prozess) und seine Leistungsfähigkeit (Funktion) aufgeführt. Diese Ebenen sind sehr wichtig und vervollständigen die Biomimikry-Ansätze. Wenn wir das Genie der Natur bewusst nachahmen wollen, müssen wir die Natur mit anderen Augen betrachten. In der Biomimikry betrachten wir die Natur als Vorbild, Maßstab und Mentor.





- **Die Natur als Vorbild:** Biomimikry ist eine neue Wissenschaft, die die Vorbilder der Natur untersucht und dann diese Formen, Prozesse, Systeme und Strategien nachahmt, um menschliche Probleme nachhaltig zu lösen. Die Biomimicry Guild und ihre Kooperationspartner haben ein praktisches Design-Tool entwickelt, das sich Biomimicry nennt.
- **Die Natur als Maßstab:** Die Biomimikry verwendet einen ökologischen Standard, um die Nachhaltigkeit unserer Innovationen zu beurteilen. Nach 3,8 Milliarden Jahren Evolution hat die Natur gelernt, was funktioniert und was Bestand hat. Die Natur als Maßstab wird in den Lebensprinzipien erfasst und ist in den Bewertungsschritt der Biomimikry-Design-Spirale eingebettet.
- **Die Natur als Mentor:** Biomimikry ist eine neue Art, die Natur zu betrachten und zu schätzen. Sie läutet eine Ära ein, die nicht darauf basiert, was wir aus der Natur gewinnen können, sondern was wir von ihr lernen können.



Wie können wir biologisches Wissen anwenden?

Die Anwendung biologischer Erkenntnisse beschreibt Projekte mit unterschiedlicher Dauer, die in der Regel vom Schreibtisch aus durchgeführt werden. Mit anderen Worten: Sie beinhalten in der Regel keine biologischen (oder technischen) Experimente oder andere Studien. Sie beginnen in der Regel mit der groben Idee, biologische Inspiration zur Lösung einer technischen Herausforderung zu suchen, oder mit der Motivation, ein biologisches Forschungsergebnis für eine technische Aufgabe anzuwenden. Das Projekt erfordert oft ein detaillierteres Verständnis darüber, ob faszinierende biologische Inspirationen oder technische Anwendungen gefunden werden. Designer müssen dann nach zusätzlichen Informationen suchen. In diesem Szenario spielt der Teamaspekt eine untergeordnete Rolle, und der Designer kann ein einzelner Ingenieur oder Biologe sein (Hashemi Farzaneh, 2019). Das bedeutet, dass es besser ist, bei der Anwendung biologischer Erkenntnisse einen Problemlösungsprozess zu haben.



Biomimikry als Konzept

Biomimikry bedeutet die kreative Umsetzung biologischer Konzepte in Produkten. Wie in diesem Text erwähnt, können wir einen breiten Überblick über Biomimikry geben und haben die Umsetzung physiologischer und organisatorischer Lösungen aus der Natur in Produkte und Dienstleistungen beschrieben. Die Umsetzung und wirtschaftliche Effizienz werden anhand ausgewählter Beispiele gezeigt. Vier Beispiele für die erfolgreiche Umsetzung von Lösungen aus der Natur. Die Natur wird zunehmend als Vorbild und Maßstab angesehen. Es ist nicht verwunderlich, dass die Natur im Laufe von Millionen von Jahren der Evolution Mechanismen und Systeme geschaffen hat, die hocheffizient sind und es Fachleuten aus verschiedenen Bereichen ermöglichen, zusammenzuarbeiten, was eine Voraussetzung für den Erfolg der Biomimikry ist. Die Natur strebt eher nach „Optimierung“ als nach „Maximierung“ und ist zudem ein Modell für Nachhaltigkeit, da sie ein „geschlossenes Kreislaufsystem“ ist. Alle Organismen tragen zum Recycling der wichtigsten Nährstoffe der Erde bei – Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Wenn die Menschen auf unbegrenzte Zeit prosperieren wollen, müssen sie verantwortungsbewusst handeln und den geschlossenen Kreislauf der Natur nachahmen. Biomimikry (griechisch bios – Leben; mimesis – nachahmen) ist eine Disziplin, die sich mit der Anwendung der Prinzipien der Natur befasst. Sie verändert nicht nur unsere Denkweise in Bezug auf die Gestaltung, Produktion, den Transport und den Vertrieb von Waren und Dienstleistungen, sondern bietet auch Möglichkeiten, komplexe ökologische und wirtschaftliche Probleme zu lösen.

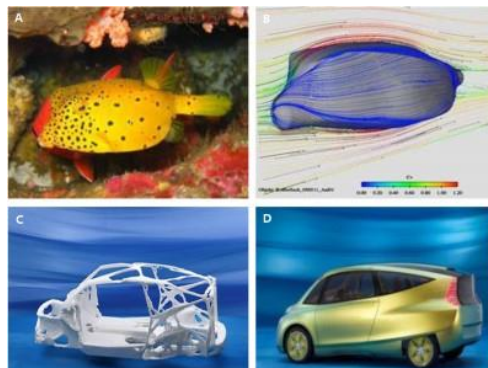


Abbildung 3. Biomimikry als Konzept (Hwang J & all, 2015)

Wie sieht die Methode des bioinspirierten Designs aus?

Bei der Anwendung bioinspirierter Designmethoden haben wir festgestellt, dass die meisten Methoden für bestimmte bioinspirierte Design-Szenarien entwickelt wurden. Für andere Szenarien sind sie möglicherweise weniger geeignet. Die Causal Relation Template (Kausalbeziehungsvorlage) ist beispielsweise eine Methode, um eine Kausalbeziehung eines biologischen Systems in einem Satz zu formulieren und diese Kausalbeziehung in einem anderen Satz auf ein bioinspiriertes technisches System zu übertragen. Diese Technik kann Designern helfen, schnell mehrere Analogien aus dem biologischen in den technischen Bereich zu





übertragen. Die Formulierung einer biologischen Lösung in einem Satz erfordert jedoch eine enorme Vereinfachung. Wenn wir ein Forschungsprojekt zur detaillierten Analyse eines biologischen Systems durchgeführt haben, haben wir wahrscheinlich komplexe Erklärungen für dessen Strategien abgeleitet.

Die Formulierung einer kausalen Beziehung in einem Satz erweist sich als weniger nützlich, um solche komplexen Beziehungen zu übertragen. Andererseits erfordern viele Methoden für bioinspiriertes Design viel Zeit und Training. Beispielsweise ist die SBF-Modellierung eine Methode zur Abstraktion technischer und biologischer Systeme. Die Funktionen der Systeme werden in detaillierten Schritten modelliert. Diese Methode ist sehr nützlich, um detailliertes Wissen darzustellen, das durch Literaturrecherche oder durch tatsächliche Studien oder Experimente zu einem biologischen oder technischen System gewonnen wurde. In kurzen Ideenfindungsworkshops ist sie jedoch unpraktisch. Wir haben drei Szenarien entwickelt, um die Eignung der Methoden für bestimmte Arten von bioinspiriertem Design aufzuzeigen.

Sie unterscheiden sich hinsichtlich des Aufwands, der für die Analyse technischer und biologischer Systeme betrieben wird. Ihr bioinspiriertes Designprojekt könnte genau zwischen einem der Szenarien liegen oder auch ganz anders aussehen. Dennoch können Ihnen diese Szenarien einen Hinweis darauf geben, ob eine Methode für Ihr Projekt eine Untersuchung wert ist.

Bioinspiriertes Design umfasst sowohl die technische Produktentwicklung als auch die biologische Forschung. Es gibt kaum Überschneidungen zwischen den gängigen Verfahren beider Disziplinen. Wenn Ingenieure und Biologen zusammenarbeiten sollen, müssen zudem ihre unterschiedlichen Arbeitsansätze berücksichtigt werden, damit das gemeinsame Projekt erfolgreich ist.





Augmented Reality (AR) in der Biomimikry-Ausbildung

Augmented Reality (AR) überlagert die reale Welt mit virtuellen Elementen und schafft so eine interaktive und immersive Lernumgebung. Im Kontext der Biomimikry-Ausbildung kann AR das Verständnis komplexer biologischer Strukturen und Prozesse durch dreidimensionale Visualisierungen und interaktive Simulationen erheblich verbessern.

Studien haben die Wirksamkeit von AR in Bildungssituationen gezeigt:

- **Verbesserte Visualisierung:** AR erleichtert die Erforschung komplexer biologischer Strukturen und macht abstrakte Konzepte greifbarer und verständlicher. So wurde AR beispielsweise effektiv zur Visualisierung makromolekularer Strukturen eingesetzt, um deren Funktionen und Wechselwirkungen besser verständlich zu machen (Vardar-Ulu et al., 2024).
- **Verkörperertes Lernen:** AR unterstützt die verkörperte Kognition, indem es den Lernenden ermöglicht, mit virtuellen Modellen in einem physischen Raum zu interagieren, wodurch das Engagement und die Beibehaltung wissenschaftlicher Konzepte verbessert werden. Dieser Ansatz verbessert nachweislich die Lernerfahrung, indem er körperliche Aktivität mit kognitiver Verarbeitung verbindet (Mansour et al., 2024).
- **Motivation und Engagement:** Es hat sich gezeigt, dass der interaktive Charakter von AR die Motivation und das Engagement der Schüler erhöht, was zu effektiveren Lernergebnissen führt. Durch die Bereitstellung immersiver Erfahrungen kann AR das Lernen angenehmer und anregender gestalten (Subran & Diyana Mahmud, 2024).

Augmented Reality (AR) bietet einen transformativen Ansatz zur Erforschung der Grundlagen der Biomimikry, indem sie die Wahrnehmung und Interaktion der Lernenden mit biologischen und technischen Systemen verbessert. Durch immersive und interaktive Erlebnisse ermöglicht AR ein tieferes Verständnis der Prinzipien der Biomimikry und bioinspirierter Designprozesse.

Verbesserung des Verständnisses der Prinzipien der Biomimikry durch AR

AR ermöglicht dynamische Darstellungen der Prinzipien der Biomimikry, wie zum Beispiel:

- **Form-Funktion-Anpassung:** Interaktive AR-Modelle können zeigen, wie sich natürliche Formen entwickeln, um bestimmte Funktionen zu optimieren. Beispielsweise können AR-Anwendungen die Mikrostruktur eines Lotusblatts visualisieren, seine wasserabweisenden Eigenschaften veranschaulichen und zu selbstreinigenden Oberflächendesigns inspirieren.
- **Energieeffizienz:** AR-Simulationen können den Energieverbrauch in natürlichen Prozessen mit dem in technischen Systemen vergleichen und veranschaulichen, wie Organismen wie Vögel mit minimalem Energieaufwand fliegen können. Diese





vergleichende Visualisierung hilft beim Verständnis und der Anwendung energieeffizienter Strategien im Design (https://elearningindustry.com/the-role-of-augmented-reality-in-education-revolutionizing-learning-experiences?utm_source=chatgpt.com).

Visualisierung bioinspirierter Designprozesse

Die iterative Natur des bioinspirierten Designs, von der Abstraktion bis zum Analogietransfer, kann für Lernende eine Herausforderung darstellen. AR mindert diese Herausforderungen durch:

- **Simulation biologischer Prozesse:** AR-Visualisierungen können komplexe biologische Mechanismen wie die Photosynthese oder die Haftfähigkeit der Füße von Geckos nachbilden, sodass Lernende diese Prozesse interaktiv zerlegen und analysieren können.
- **Erleichterung der multiskaligen Analyse:** AR schlägt eine Brücke zwischen Makro- und Mikroskala und hilft den Nutzern, Prozesse auf Ökosystemebene mit organismusspezifischen Anpassungen zu verbinden, wodurch ein ganzheitliches Verständnis biologischer Systeme gefördert wird.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit

AR fördert eine bessere Zusammenarbeit zwischen Biologen, Ingenieuren und Designern, indem es eine gemeinsame Plattform für die Visualisierung und Diskussion abstrakter biologischer Konzepte und ihrer technischen Anwendungen bietet. Es kann:

- **Unterschiedliche Terminologien und Perspektiven angleichen:** AR bietet visuelle Referenzen in Echtzeit und erleichtert so die Kommunikation zwischen interdisziplinären Teams.
- **Die Abstraktions- und Analogiesphasen optimieren:** Durch die Bereitstellung interaktiver Modelle sorgt AR für eine bessere Übertragung biologischer Erkenntnisse auf technische Entwürfe und verbessert so die Effizienz des Entwurfsprozesses.

Überwindung von Designherausforderungen

Biomimikry beinhaltet oft die Neuinterpretation biologischer Strategien für technische Anwendungen, ein Prozess, der tiefes Verständnis und Kreativität erfordert. AR befasst sich mit häufigen Herausforderungen wie:

- **Prototyp-Fehler:** Durch die Simulation von Umweltkräften und Interaktionen in AR können Benutzer die Machbarkeit von bioinspirierten Designs virtuell testen und so kostspielige Trial-and-Error-Iterationen in der physischen Welt reduzieren.
- **Dynamische Anpassung:** Die Fähigkeit von AR, Umweltvariabilität (z. B. Licht, Strömungsdynamik) zu simulieren, bietet Einblicke in die mögliche Leistung bioinspirierter Designs unter realen Bedingungen und ermöglicht notwendige Anpassungen vor der physischen Prototypenerstellung (Ciloglu & Ustun, 2023).





Möglichkeiten für die Integration von AR

AR schafft einzigartige Lernmöglichkeiten in der Biomimikry-Ausbildung:

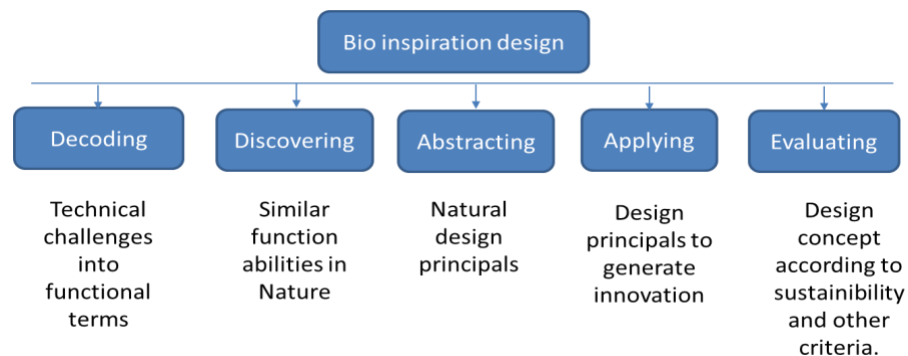
- **Interaktive Fallstudien:** Die Lernenden können ikonische Beispiele für Biomimikry (z. B. Klettverschlüsse, die von Kletten inspiriert sind, oder Oberflächen, die von Haifischhaut inspiriert sind) in 3D-AR-Umgebungen erkunden, was das Engagement und Verständnis fördert.
- **Szenariotests:** AR kann simulieren, wie bioinspirierte Designs auf Veränderungen von Variablen wie Temperatur, Druck oder Licht reagieren, und so ein tieferes Verständnis ihrer Anwendbarkeit und Robustheit fördern.
- **Echtzeit-Feedback:** Mithilfe von AR-Tools können Studierende ihre bioinspirierten Konzepte sofort visualisieren und optimieren, was iteratives Lernen und Innovation fördert.

Die Integration von AR in die Biomimikry-Ausbildung steht im Einklang mit den allgemeinen Trends im Bereich des erfahrungsorientierten und immersiven Lernens. Da AR-Technologien immer fortschrittlicher und zugänglicher werden, bieten sie beispiellose Möglichkeiten, das Verständnis zu vertiefen, die Zusammenarbeit zu verbessern und innovative Anwendungen der Biomimikry-Prinzipien anzuregen. Der Einsatz von AR im Bildungsbereich kann zu effektiveren und ansprechenderen Lernerfahrungen führen und die Schüler darauf vorbereiten, Biomimikry-Konzepte in realen Szenarien anzuwenden (<https://elearningindustry.com/augmented-reality-in-education-staggering-insight-into-future>).

Modul ausführen:

Bioinspirierter Designprozess

Bioinspiriertes Design untersucht die Struktur und Funktionsweise organischer Strukturen als Vorlagen und Pläne oder baut moderne Materialien und Maschinen. Es wird allgemein als Synonym für Biomimikry, Biomimesis und Biognosis angesehen und ist mit Biomimetik vergleichbar. Der Begriff Biomimetik leitet sich vom griechischen Wort bios, „Leben“, und dem Zusatz mimetic, „zur Nachahmung geeignet“, ab.





Im Allgemeinen könnte von der Natur inspiriertes Design eine Strategie sein, um Lösungen für menschliche Herausforderungen zu finden, indem Pläne und Konzepte aus der Natur nachgeahmt werden. Es wird überall eingesetzt: in Gebäuden, Fahrzeugen und sogar Materialien.

Bioinspirierter Designprozess mit Augmented Reality (AR)

Die Integration von Augmented Reality (AR) in den bioinspirierten Designprozess verbessert die Interaktivität, Visualisierung und Zugänglichkeit. Dieser Ansatz steht im Einklang mit dem Konzept des „immersiven Designs“, bei dem AR genutzt wird, um realistische digitale Umgebungen für Benutzer zu schaffen. Darüber hinaus wurde die Anwendung von AR in Designprozessen in verschiedenen Studien untersucht, die das Potenzial von AR zur Revolutionierung traditioneller Methoden hervorheben (<https://journals.open.tudelft.nl/abe/article/view/3753>).

Biomimetische Designpraxis

Biologen spielen eine Schlüsselrolle im biomimetischen Designprozess, da dieser stark auf biologischem Wissen basiert; dennoch bleibt die Rolle des Designers von zentraler Bedeutung. Dies gilt insbesondere für die Abstraktion biologischer Strategien zu allgemeineren Designprinzipien und deren Umsetzung zur Lösung menschlicher Herausforderungen. Das Ziel der Biomimikry ist nicht die Nachbildung einer natürlichen Form, eines natürlichen Prozesses oder eines natürlichen Ökosystems, sondern die Ableitung von Designprinzipien aus der Biologie und deren Nutzung als Impuls für die Ideenfindung. Eine endgültige biomimetische Lösung sollte einen klaren Transfer von Funktions- oder Organisationsprinzipien aus der Biologie erkennen lassen.

Schließlich besteht der Zweck der Biomimikry darin, das Wissen zu nutzen, das in 3,8 Milliarden Jahren Forschung und Entwicklung der Natur enthalten ist, und dieses Ziel kann nicht erreicht werden, wenn die funktionale Analogie zwischen dem natürlichen Modell und dem endgültigen Design bei der Umsetzung verloren geht.

Biomimetisches Design mit AR

Die Integration von Augmented Reality (AR) in die biomimetische Designpraxis verbessert die Visualisierung, Simulation und Zusammenarbeit im Designprozess und führt zu effektiveren und innovativeren Lösungen.

Verbesserte Visualisierung biologischer Modelle

AR ermöglicht es Designern, biologische Strukturen in drei Dimensionen zu erkunden, was ein tieferes Verständnis der Beziehungen zwischen Form und Funktion ermöglicht. Beispielsweise ermöglichen interaktive AR-Modelle die Manipulation in Echtzeit und helfen so bei der Abstraktion wichtiger Prinzipien wie Energieeffizienz, Hydrophobie oder Adhäsion. Diese Fähigkeit steht im Einklang mit den Erkenntnissen, dass AR den Designprozess erheblich verbessern kann, indem es intuitive und greifbare Interaktionen mit virtuellen Modellen ermöglicht (Shin et al., 2013).





Dynamische Simulationen natürlicher Prozesse

Mithilfe von AR können Designer natürliche Prozesse wie Photosynthese oder Strömungsdynamik innerhalb biologischer Strukturen simulieren und so die Systemfunktionen unter verschiedenen Bedingungen beobachten. Diese dynamische Simulation bietet Einblicke in die Übertragung biologischer Prinzipien auf technische oder architektonische Entwürfe, da AR die Visualisierung komplexer Daten und Interaktionen unterstützt, was für kollaborative Designaufgaben von entscheidender Bedeutung ist (Nilsson et al., 2008).

Verstärkte Zusammenarbeit und Ideenfindung

AR bietet eine gemeinsame visuelle Plattform, die die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Biologen, Ingenieuren und Designern verbessert. Echtzeit-Interaktionen und -Simulationen helfen dabei, Perspektiven und Terminologien aufeinander abzustimmen und sorgen so für einen reibungsloseren Übergang von biologischen Prinzipien zu technischen Anwendungen. Untersuchungen zeigen, dass AR-Systeme einzigartige kollaborative Erfahrungen schaffen können, indem sie Benutzern die Interaktion mit gemeinsamen virtuellen 3D-Objekten ermöglichen und so eine effektive Kommunikation und den Austausch von Ideen erleichtern (Lukosch, 2015).

Interaktive Prototypenentwicklung und Feedback

Mithilfe von AR-Tools können Designer bioinspirierte Lösungen virtuell prototypisieren und in simulierten Umgebungen testen. Dieser Ansatz reduziert die mit dem physischen Prototyping verbundenen Kosten und den Zeitaufwand und ermöglicht iterative Verbesserungen auf der Grundlage von sofortigem Feedback. Studien haben gezeigt, dass AR kollaborative Design-Sitzungen effektiv unterstützen kann, da mehrere Teilnehmer gleichzeitig AR-gestützte Modelle betrachten und mit ihnen interagieren können (Giunta, 2022).

Untersuchung von räumlicher Augmented Reality für kollaboratives Design Giunta, L. (Autor). 22. Juni 2022

Implementierung von AR in biomimetischen Lösungen

Die Integration von Augmented Reality (AR) in biomimetische Designpraktiken verbessert den Prozess, indem sie die Abstraktion biologischer Prinzipien erleichtert, virtuelle Experimente ermöglicht und eine genaue funktionale Umsetzung in praktische Anwendungen gewährleistet.

- **Abstraktion von Prinzipien:** AR ermöglicht es Designern, mit detaillierten 3D-Modellen biologischer Systeme zu interagieren, was die Identifizierung und Extraktion von Funktionsprinzipien unterstützt. Diese immersive Interaktion verbessert das Verständnis und fördert Innovationen im Design.





- **Designanwendung:** Durch virtuelle Experimente und Visualisierung erleichtert AR die Anwendung abstrahierter biologischer Prinzipien in realen Szenarien. Dieser Ansatz ermöglicht es Designern, bioinspirierte Designs effizient zu testen und zu verfeinern.
- **Funktionale Umsetzung:** AR gewährleistet die genaue Umsetzung natürlicher Modelle in endgültige Designs, indem es Tools zum dynamischen Vergleich und zur Validierung biologischer Strategien bereitstellt. Dieser dynamische Validierungsprozess trägt dazu bei, die Integrität der bioinspirierten Lösungen zu gewährleisten (Shin et al., 2013).

Durch den Einsatz von AR-Technologien wird der biomimetische Designprozess robuster und effektiver und passt sich modernen, technologiegetriebenen Ansätzen für Innovation und Nachhaltigkeit an.

Biologie als Vorbild und Erfindungen:

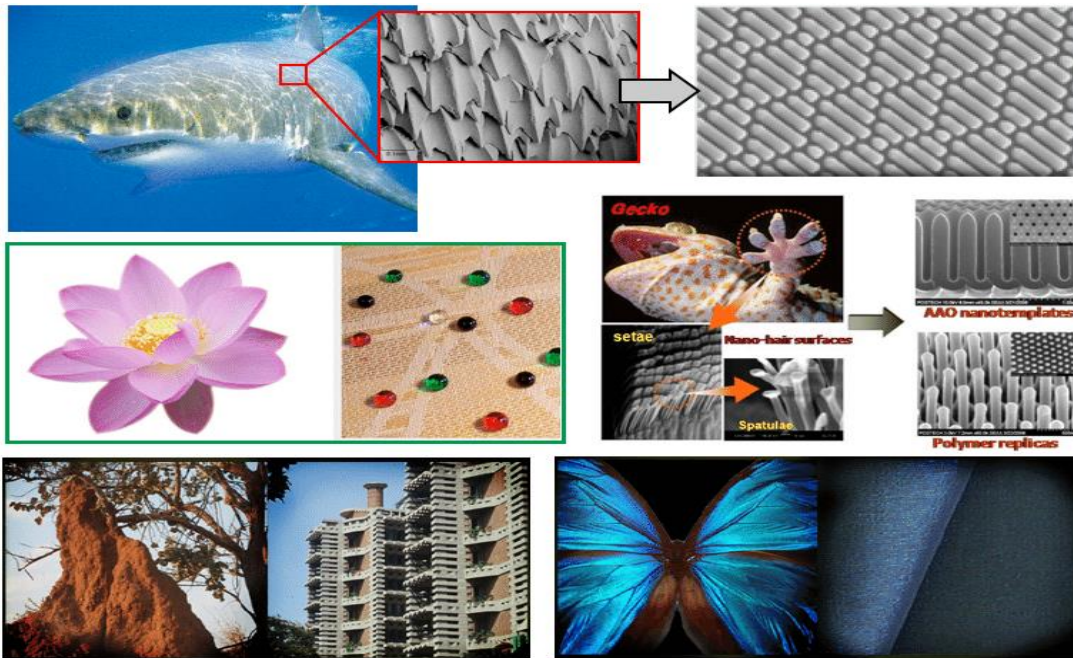
Die Natur verfügt über einen enormen Fundus an Erfindungen, die sich in einer sich verändernden Umwelt in Bezug auf Praktikabilität und Haltbarkeit bewährt haben. Um das Potenzial der Natur optimal zu nutzen, ist es entscheidend, eine Brücke zwischen Biologie und Ingenieurwesen zu schlagen und die Zusammenarbeit von Experten aus beiden Bereichen zu fördern. Diese Brückenbildung kann dazu beitragen, die Fähigkeiten der Natur in technische Fähigkeiten, Werkzeuge und Mechanismen umzuwandeln. Um sich der Natur aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht zu nähern, ist es notwendig, biologische Fähigkeiten nach technologischen Kategorien zu sortieren. Das heißt, man kann biologisch identifizierte Eigenschaften nehmen und eine Analogie in Bezug auf das Ingenieurwesen suchen, wie in der Tabelle dargestellt.

Ähnlichkeiten zwischen biologischen und technischen Systemen		
Biologie	Ingenieurwesen	Bioingenieurwesen, Biomimetik, Bionik und Biomechanik
Körper	System	Es werden Systeme mit multifunktionalen Materialien und Strukturen entwickelt, die die Fähigkeiten biologischer Systeme nachahmen.
Skelett und Knochen	Struktur und Stützstreben	Stützstrukturen sind Teil jedes künstlichen Systems
Gehirn	Computer	Fortschritte in der Computertechnik werden erzielt, indem die Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachgeahmt wird.
Intelligenz	Künstliche Intelligenz	Gehirns Es gibt zahlreiche Aspekte der künstlichen Intelligenz, die von der Biologie inspiriert wurden, darunter Augmented Reality, autonome Systeme, Computational Intelligence, Expertensysteme, Fuzzy-Logik usw.
Sinne	Sensoren	Computersicht, künstliches Sehen, Radar und andere Näherungsdetektoren haben alle direkte biologische Entsprechungen. Allerdings sind die Fähigkeiten künstlicher Sensoren selbst im besten Fall bei weitem nicht so gut wie die von Biosensoren.
Muskeln	Aktoren	Elektroaktive Polymere sind Aktoren, die in ihrer Funktion natürlichen Muskeln ähneln.



Elektrochemische Stromerzeugung	Wiederaufladbare Batterien	Die Verwendung biologischer Materialien zur Energieerzeugung bietet mechanischen Systemen enorme Vorteile.
------------------------------------	-------------------------------	--

Fähigkeiten der Natur:



Einige Fähigkeiten der Natur können als Inspiration für neue Mechanismen, Geräte und Roboter dienen. Ein Beispiel hierfür ist die Fähigkeit des Spechts, auf Holz zu schlagen, ohne dabei sein Gehirn zu schädigen. Eine weitere inspirierende Fähigkeit ist die Fähigkeit zahlreicher Lebewesen, sich auf verschiedene Arten fortzubewegen, darunter Fliegen, Graben, Schwimmen, Laufen, Hüpfen, Klettern und Kriechen. Biologisch inspirierte Fähigkeiten finden zunehmend praktische Anwendung, darunter die Kollisionsvermeidung mithilfe von Schnurrhaaren oder Sonar, kontrollierte Tarnung und selbstheilende Materialien. Eine der größten Herausforderungen wird die Entwicklung von Miniaturgeräten sein, die

- mit enormer Manövrierfähigkeit wie eine Libelle fliegen;
- wie ein Gecko an glatten und rauen Wänden haften;
- sich wie ein Chamäleon an die Beschaffenheit, Muster und Form der Umgebung anpassen oder ihren Körper umformen können, um wie ein Oktopus durch sehr enge Röhren zu kriechen;
- komplexe dreidimensionale (3D) Bilder in Echtzeit verarbeiten können;
- Mobilitätsenergie für einen hocheffizienten Betrieb und eine hocheffiziente Fortbewegung recyceln;
- sich selbst replizieren, selbst wachsen, indem sie Ressourcen aus der Umgebung nutzen;
- Energie chemisch erzeugen und speichern; und viele andere Fähigkeiten, für die die Biologie ein Vorbild für Wissenschaft und Technik ist.





Obwohl viele Aspekte der Biologie noch immer unser Verständnis übersteigen, wurden bereits bedeutende Fortschritte erzielt.

Erweiterungsmodul (Projektbeispiele für den Einsatz von AR-Tools in der Biomimikry-Ausbildung)

Augmented-Reality-Tools (AR-Tools) eröffnen neue Dimensionen für die Biomimikry-Ausbildung, indem sie den Studierenden eine immersive, interaktive Möglichkeit bieten, sich mit biologischen Prinzipien auseinanderzusetzen und diese in innovative Designlösungen umzusetzen. Nachfolgend finden Sie Beispiele dafür, wie AR-Tools bereits verwendete Projekte anpassen und verbessern können.

Entworfen, inspiriert von der Natur: (The Biomimicry Institute, 2009)

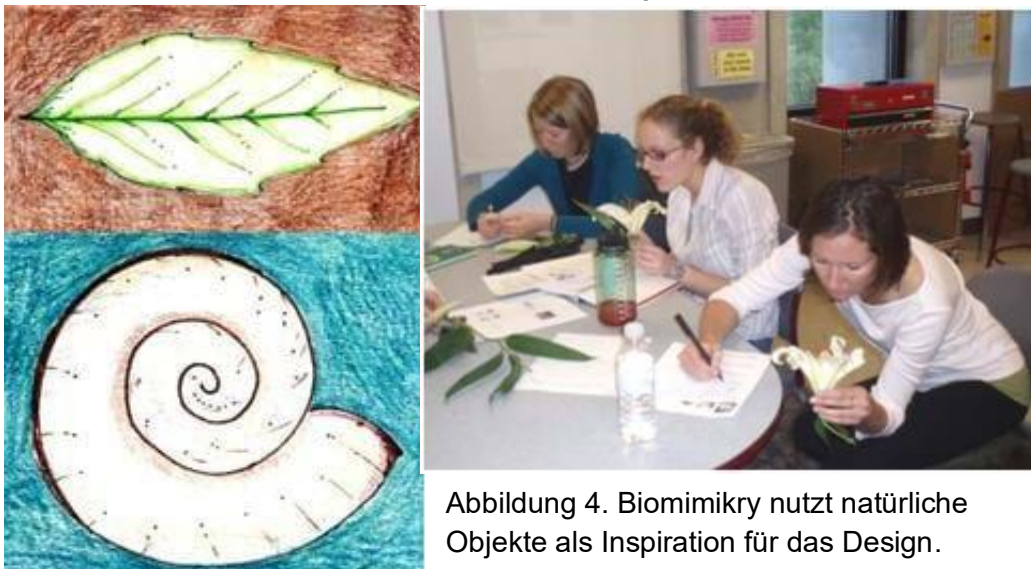


Abbildung 4. Biomimikry nutzt natürliche Objekte als Inspiration für das Design.

In dieser Beispielaktivität auf Grundniveau entdecken die Schüler, wie Ingenieure Biomimikry nutzen können, um ihre Entwürfe zu verbessern. Sie lernen, wie die sorgfältige Beobachtung der Natur – sozusagen als Naturdetektiv – zu Innovationen und Produkten führen kann. In dieser Aktivität analysieren die Schüler eine Blume, um Designideen für neue Produkte zu sammeln.

- Bezug zum Ingenieurwesen: Pflanzen und Tiere sind in der Tat die Ingenieure der Natur. Ein Blatt kann beispielsweise Sonnenenergie effizienter nutzen als unsere besten Solarzellen. Über Millionen von Jahren haben Pflanzen und Tiere ausgeklügelte Methoden entwickelt, um auf der Erde zu überleben. Als Ingenieure können wir uns an der Natur orientieren, um unsere bestehenden Designs und Produkte zu verbessern. Durch das Studium der Natur können wir auch Inspiration für Designs gewinnen, die es noch nie gegeben hat.

Nach dieser Aktivität sollten die Schüler in der Lage sein:

- Erklären, wie Biomimikry zur Verbesserung von technischen Konstruktionen eingesetzt werden kann.
- den Prozess des Reverse Engineering eines Objekts zu beschreiben.





- zu erklären, wie Brainstorming im Team zu kreativeren Ideen führen kann.

Vor der Aktivität

1. Materialien sammeln.
2. Erstellen Sie Kopien des Arbeitsblatts „Biomimikry erkunden“.
3. Sehen Sie sich die oben genannten Beispiele für Biomimikry an (weitere Beispiele finden Sie in den unter „Referenzen“ aufgeführten Quellen).
4. Üben Sie das Reverse Engineering einer Blume, um sich auf die Fragen der Schüler vorzubereiten.

Mit den Schülern

Teil I: Rückentwicklung

1. Überprüfen Sie die wichtigsten Konzepte der Biomimikry und präsentieren Sie mehrere Fallstudien, um die Schüler zu motivieren.
2. (empfohlen) Führen Sie vor der Hauptaktivität die Vorabbewertung durch. Dies hilft dabei, die Voraussetzungen für die Reverse-Engineering-Aufgabe zu schaffen.
3. Teilen Sie die Klasse in Gruppen von jeweils 2–3 Schülern auf.
4. Geben Sie jeder Gruppe ein Arbeitsblatt.
5. Verwenden Sie das Arbeitsblatt, um das Konzept und die Vorgehensweise des Reverse Engineering zu wiederholen, bevor Sie den Teams ihre Blumen und Werkzeuge aushändigen. Sie können sogar von jedem Team verlangen, eine Untersuchungsfrage zu beantworten, bevor Sie die Materialien austeilen.
6. Geben Sie jeder Gruppe einen Satz Reverse-Engineering-Werkzeuge, wie Zahnstocher, Pinzetten, Schneidewerkzeuge, Lupen und Plastiktüten.
7. Weisen Sie die Schüler an, mit dem Reverse Engineering ihrer Blumen zu beginnen. Achten Sie darauf, dass die Gruppen ihren Arbeitsblättern folgen, die die folgenden vier Schritte beschreiben:
 - a. Nehmen Sie die Blume vorsichtig auseinander und skizzieren Sie ihre verschiedenen Bestandteile.
 - b. Beschreiben Sie die Farben und Texturen der Blume. Warum wurde die Blume mit diesen Materialien geschaffen?
 - c. Beschreiben Sie die Gesamtform und Struktur der Blume. Welche Herausforderung könnte die Blume durch diese Form und Struktur lösen?
 - d. Wie könnte ein Ingenieur das Material, die Farbe, die Form und die Struktur der Blume nachahmen, um etwas Neues zu entwerfen?
 - e. Welche wissenschaftlichen Konzepte, die Sie zuvor gelernt haben, beziehen sich auf die Blume? Wie könnten Sie diese in Ihrem Entwurf verwenden?

Ursprüngliche Aktivität: Die Schüler analysieren eine Blume, um ihre Struktur, ihre Materialien und ihr funktionales Design zu verstehen. Mit AR erweitert:

- Verwenden Sie Tools wie **JigSpace**, um 3D-AR-Modelle von Blumen bereitzustellen, mit denen die Schüler ihre inneren Strukturen virtuell erkunden und die Beziehungen zwischen Form und Funktion verstehen können.
- Simulieren Sie, wie Blütenblätter mit Umwelteinflüssen interagieren, z. B. indem sie Pollen vor Wind schützen oder Licht brechen, um Bestäuber anzulocken.





- Ermöglichen Sie die Zerlegung virtueller Modelle, damit die Schüler wichtige strukturelle Komponenten wie die Textur der Blütenblätter oder die Flexibilität der Stiele beobachten können, was ein tieferes ökologisches Verständnis fördert.

Neues Lernergebnis: Die Schüler erhalten Einblicke in die Anwendung biologischer Strukturen auf reale technische Herausforderungen, wie z. B. die Schaffung wasserabweisender Oberflächen oder nachhaltiger Materialien.

Teil II: Produktdesign

1. Wenn die Schüler mit dem Reverse Engineering der Blumen fertig sind, bitten Sie sie, auf der Grundlage ihrer Beobachtungen Ideen für mögliche neue Produkte zu sammeln. Von Blumen inspirierte Produkte könnten beispielsweise neue wasserdichte Kleidung, ein Wassersammelsystem für Häuser, leichte Baumaterialien, ein Wolkenkratzer, der sich im Wind wiegen kann, ohne zu brechen, usw. sein.
2. Lassen Sie jede Gruppe etwa 10 Minuten lang mögliche Produkte brainstormen. Lassen Sie sie die Ideen, die während des Brainstormings entstanden sind, aufschreiben oder aufzeichnen.
3. Bitten Sie die Gruppen, ein Endprodukt auszuwählen, das sie der Klasse vorstellen möchten. Geben Sie den Schülern eine Liste mit Designkriterien oder Einschränkungen. Zum Beispiel: Größe, Budget, Materialien, Ressourcen, kulturelles Umfeld usw. Dies hilft den Schülern, sich in ihre „Ingenieursrolle“ hineinzuversetzen. Beispiele hierfür könnten unter anderem folgende sein:
 - Fordern Sie die Schüler auf, Entwürfe zu entwickeln, die zur Lösung von Umweltproblemen beitragen.
 - Fordern Sie die Schüler auf, Entwürfe zu entwickeln, die zur Lösung von Gesundheits-/medizinischen Problemen beitragen.
 - Fordern Sie die Schüler auf, Entwürfe zu entwickeln, die in einem Entwicklungsland oder einer ländlichen Region mit begrenzten Ressourcen gebaut werden können.
 - Geben Sie den Schülern ein hypothetisches Budget, z. B. 100 Dollar.
 - Verlangen Sie von den Schülern, dass ihre Entwürfe keinen Abfall verursachen, d. h. ausschließlich wiederverwendbare Materialien verwenden.
4. Geben Sie jeder Gruppe weitere 10 Minuten Zeit, um die besten Ideen für ihre Endprodukte zu entwickeln. Fordern Sie sie auf, Skizzen und Notizen zu ihren Produkten auf einem neuen Blatt Papier anzufertigen. Lassen Sie die Schüler die Designvorgaben des Lehrers entsprechend einbeziehen.
5. Bewerten Sie die verschiedenen Entwürfe, um festzustellen, wie gut sie die Kriterien/Einschränkungen erfüllen.
6. Bitten Sie jede Gruppe, ihr Produkt dem Rest der Klasse vorzustellen. Wenn die Gruppen damit einverstanden sind, lassen Sie sie ihre Ideen an die Tafel zeichnen und die Fragen der anderen Teams zu ihren Produkten beantworten.
7. Nachdem alle Gruppen ihre Präsentationen gehalten haben, leiten Sie die Nachbewertungsaktivität mit den Schülern.





Abbildung 5. Zwei Schüler führen ein Reverse Engineering einer Sonnenblume durch, © 2009 by Regents of the University of

Erweitert mit AR:

- Nutzen Sie AR-Plattformen wie **Assemblr EDU**, damit die Schüler virtuelle Prototypen von bioinspirierten Designs erstellen können.
- Simulieren Sie Produktfunktionen in Echtzeit, z. B. wasserdichte Kleidung, die Lotusblätter imitiert, oder leichte Materialien, die Pflanzenstrukturen nachempfunden sind.
- Kollaborative AR-Umgebungen fördern das Brainstorming in der Gruppe und verbessern die teamorientierte Problemlösung.

Neues Lernergebnis: Die Studierenden lernen, eine Brücke zwischen Biologie und Ingenieurwesen zu schlagen, indem sie bioinspirierte Lösungen mit AR-gestützten Feedback-Mechanismen entwerfen.

Technologien und Mechanismen in der Natur:

Die automatische Steuerung des Systembetriebs ist begrenzt, wenn eine einfache Software mit nur vordefinierten Optionen verwendet wird. Zunehmend werden Systeme mithilfe künstlicher Intelligenz intelligent gestaltet, wobei die Steuerungsalgorithmen die Natur nachahmen. Um diese Systeme intelligent zu gestalten, werden Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet, die wichtige Steuerungsfunktionen wie Wissenserfassung, Darstellung und Neuzonierung unter Unsicherheit, Planung, Bildverarbeitung, Gesichts- und Merkmalsverfolgung, Sprachverarbeitung, Kartierung und Navigation, Verarbeitung natürlicher Sprache und maschinelles Lernen bieten. Im Allgemeinen ist künstliche Intelligenz ein Zweig der Informatik, der sich mit den rechnerischen Anforderungen für Aufgaben wie Wahrnehmung, Neuzonierung und Lernen befasst, um die Entwicklung von Systemen zu ermöglichen, die diese Fähigkeiten ausführen. Durch ein besseres Verständnis der menschlichen Kognition können Wissenschaftler zunehmend die Anforderungen an Intelligenz im Allgemeinen verstehen und intelligente Geräte, autonome Agenten und Systeme entwickeln, die mit Menschen zusammenarbeiten, um deren Fähigkeiten zu verbessern.

Zahlreiche Beispiele für Mechanismen wurden durch die Beobachtung der Biologie inspiriert; einige Beispiele werden hier aufgeführt.



- **Inchworm-Linearmotoren**

Der biologische Inchworm ist eine Raupe aus der Familie der Geometridae, die sechs Vorderbeine und vier Hinterbeine hat. Die Nachahmung des Bewegungsmechanismus dieser Larve oder Raupe führte zur Entwicklung von Motoren und Linearantrieben, die als Inchworms bekannt sind. Diese im Handel erhältlichen Motoren werden von piezoelektrischen Aktuatoren (hergestellt von Unternehmen wie Burleigh Instruments) angetrieben. Sie können sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 2 mm s^{-1} und einer Auflösung im Nanometerbereich bewegen und dabei Hunderte von Millimetern zurücklegen. Die von diesen Motoren erzeugten Kräfte können über 30 N erreichen, ohne Spiel und mit hoher Stabilität. Ihr nichtmagnetischer Inhalt bietet Vorteile für Anwendungen in Testinstrumenten wie Magnetresonanztomographen (MRT). Im Vergleich zu biologischen Muskeln haben die piezoelektrisch angetriebenen Inchworms keine Verlustleistung, wenn sie ihre Position halten.

Inchworm-Mechanismen gibt es in vielen Konfigurationen, wobei das einheitliche Antriebsprinzip zwei Bremsen und einen Extender verwendet. Diese Motoren führen zyklische Schritte aus, bei denen die hintere Bremse eine Welle festklemmt und ein Extender die vordere Bremse nach vorne drückt. Dann klemmt die vordere Bremse die Welle fest, löst die hintere Bremse und zieht den Extender zurück, um einen Schritt vorwärts zu fahren. Dieser Schritt kann bis zu 1 nm klein sein.

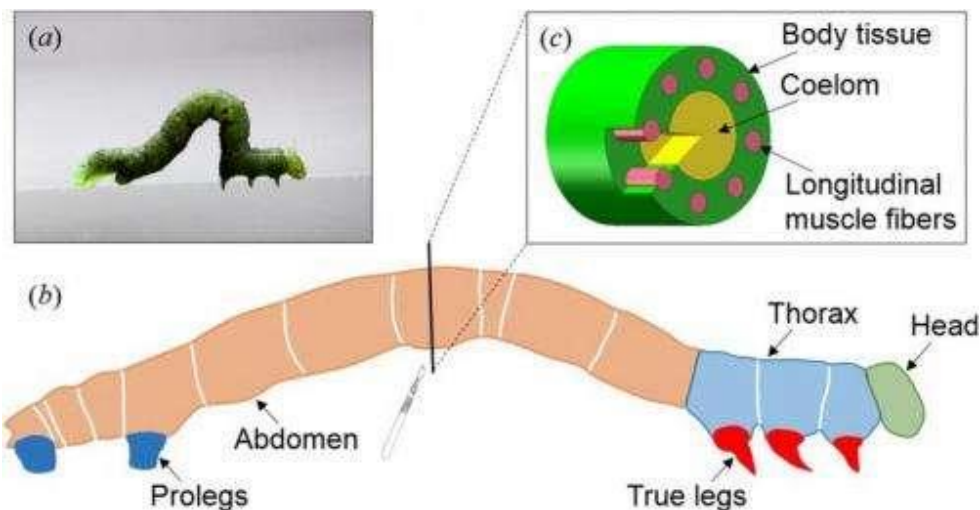


Abbildung 6. (a) Ein echter Inchworm, (b) Seitenansicht eines Inchworms und (c) Skizze seiner wichtigsten Muskelstrukturen. Quelle: Wang et al. ©2014 IOP Publishing

Tatsächlich untersuchen sie im Rahmen eines Studentenprojekts, wie die Bewegung der Raupe piezoelektrische Motoren inspiriert hat, und verstehen dabei ihre Prinzipien der Mobilität, Effizienz und praktischen Anwendungen in Geräten wie MRT-Systemen.





Verbesserte Konzentration mit AR

Mithilfe von AR können Schüler:

1. die Biomechanik der Bewegung des Inchworms in 3D visualisieren.
2. simulieren, wie piezoelektrische Aktuatoren diese Bewegung in Linearmotoren nachahmen
3. biologisch inspirierte Motorkonstruktionen virtuell als Prototypen erstellen und deren Funktionalität und Effizienz testen.

1. Visualisierung der Bewegung des Inchworms

- Tool: Verwenden Sie **JigSpace** oder **Merge Cube**, um ein interaktives 3D-Modell des Körpers und der Muskelstruktur der Raupe zu erstellen.
- Aktivität:

Die Schüler manipulieren das AR-Modell, um zu beobachten, wie die Muskeln des Inchworms zyklische Bewegungen koordinieren.

Simulationen können zeigen, wie der Inchworm seine Bewegung an verschiedene Oberflächen anpasst, und so die Funktionsprinzipien seiner Mobilität verdeutlichen.

2. Simulation des piezoelektrischen Motormechanismus

- Tool: Verwenden Sie **Assemblr EDU** oder ähnliche Plattformen, um eine 3D-AR-Simulation von piezoelektrischen Aktuatoren zu erstellen, die die Bewegung der Raupe nachahmen.
- Aktivität:

Die Schüler untersuchen ein AR-Modell des Motors, um die Rolle von Bremsen, Verlängerungen und piezoelektrischen Aktuatoren zu verstehen.

Simulationen ermöglichen es den Schülern, Variablen (z. B. Motordrehzahl, Kraft oder Auflösung) anzupassen und ihre Auswirkungen in Echtzeit zu beobachten.

3. Prototyping bioinspirierter Motoren

- Tool: Nutzen Sie Reality Composer oder **Sketchfab** für das AR-basierte Prototyping.
- Aktivität:

Die Schüler entwerfen mit AR-Tools ihre eigenen, von Inchworms inspirierten Motoren.





Sie können die Motoren virtuell testen und beobachten, wie sich Anpassungen an der Konfiguration des Motors auf dessen Leistung auswirken (z. B. Präzision, Stabilität oder Energieeffizienz).

4. Reale Anwendungen mit AR

- Tool: Verwenden Sie AR, um reale Anwendungen von Inchworm-Motoren in medizinischen, industriellen oder robotischen Kontexten zu simulieren.
- Aktivität:

Die Schüler können sehen, wie der Motor in Geräten wie MRT-Scannern oder Roboterarmen funktioniert.

Simulationen können die Vorteile von Inchworm-inspirierten Designs hervorheben, wie z. B. hohe Präzision und geringe Energieverluste.

Neue Lernergebnisse

1. Biomechanisches Verständnis: Die Schüler erhalten ein tieferes Verständnis für die Bewegung des Inchworms und wie diese innovative technische Lösungen inspiriert hat.
2. Systemdenken: AR fördert eine ganzheitliche Sichtweise auf biologische Prinzipien und technische Anwendungen.
3. Design und Experimentieren: Die Schüler entwickeln und testen bioinspirierte Designs in einer virtuellen, risikofreien Umgebung, was Kreativität und iteratives Lernen fördert.
4. Relevanz für die Praxis: AR demonstriert die Auswirkungen der Biomimikry in praktischen Kontexten und macht die Lernerfahrung so bedeutungsvoller.

- **Pumpmechanismen**

Pumpmechanismen in der Natur bieten ein hervorragendes Vorbild für Flüssigkeits- und Gaspumpvorrichtungen. Die Natur nutzt verschiedene Pumpmechanismen, die auch in mechanischen Pumpen zum Einsatz kommen. Die Lungen pumpen Luft ein und aus (Atemzugpumpen) mithilfe des Zwerchfells, das unsere Atmung mit Unterstützung der Zwischenrippenmuskeln ermöglicht. Peristaltisches Pumpen ist eine der häufigsten Formen des Pumpens in biologischen Systemen, bei denen Flüssigkeiten in die gewünschte Richtung gedrückt werden. Diese Art des Pumpens ist im Verdauungssystem weit verbreitet. Das Pumpen über Ventile und Kammern, die ihr Volumen verändern, findet sich im menschlichen und tierischen Herzen, wo sich die Kammern ausdehnen und zusammenziehen. Die Verwendung von Einwegventilen ist der Schlüssel zum Blutfluss in den Venen, wo der Druck niedriger ist.



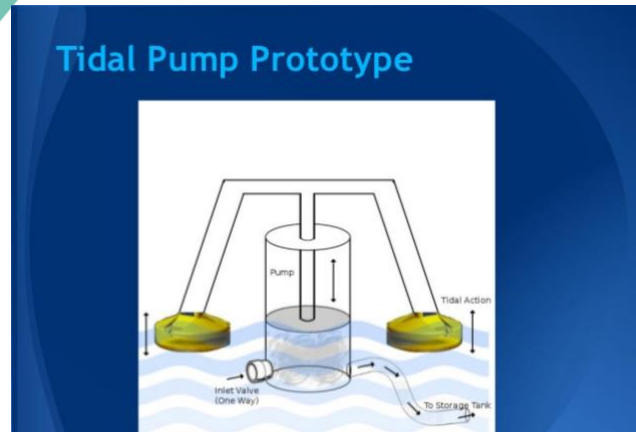


Abbildung 7. Gezeitenpumpe, <https://www.slideshare.net>

Indem sie diesen Mechanismus als Schülerprojekt betrachten, erforschen die Schüler natürliche Pumpmechanismen wie das menschliche Herz oder die Peristaltik im Verdauungssystem.

Erweitert mit AR:

- Verwenden Sie AR-Tools wie **Merge Cube**, um interaktive 3D-Modelle biologischer Pumpen zu erstellen, mit denen die Schüler deren Anatomie und Funktionsweise erkunden können.
- Simulationen können die Strömungsdynamik veranschaulichen und zeigen, wie Einwegventile und Druckunterschiede einen effizienten Flüssigkeitstransport ermöglichen.
- Die Schüler können virtuelle Prototypen von bioinspirierten Pumpen für Anwendungen wie medizinische Geräte oder Bewässerungssysteme entwerfen.

Neues Lernergebnis: Die Schüler erwerben ein tieferes Verständnis der Strömungsmechanik und ihrer Umsetzung in effiziente technologische Lösungen.

• Kontrollierte Adhäsion

Viele Organismen erreichen eine kontrollierte Nass- oder Trockenhaftung. Mit einer stark fibrillierten Mikrostruktur nutzt der Käfer *Hemisphaerota cyanea* eine Nasshaftung, die auf Kapillarinteraktion basiert. Der Gecko hingegen zeigt eine bemerkenswerte Trockenhaftung unter Verwendung von Van-der-Waals-Kräften. Obwohl diese Kräfte eine geringe intrinsische Energie ($\sim 50 \text{ m J m}^{-2}$) liefern, ermöglicht ihre effektive lokale Anwendung die bemerkenswerte Fähigkeit (Autumn et al 2002). Mit diesem Haftmechanismus kann der Gecko mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 m s^{-1} auf poliertem Glas laufen und seinen Körper mit einem einzigen Zeh an der Wand befestigen, um sein Körpergewicht zu tragen. Diese Fähigkeit motivierte zu Versuchen, den Haftmechanismus des Geckos nachzuahmen, und es wurden einige begrenzte Erfolge vermeldet. Solche Forschungen wurden von Autumn und Peattie (2003) durchgeführt, die ein künstliches Fußhaar-Spitzenmodell für einen trockenen, selbstreinigenden Klebstoff entwickelten, der unter Wasser und im



Vakuum funktioniert.

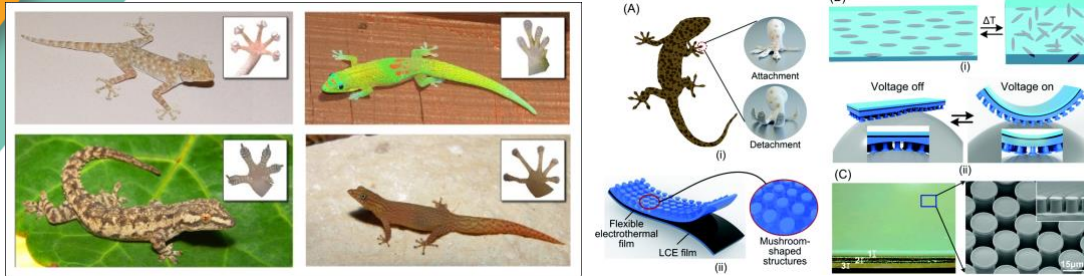


Abbildung 8. Adhäsionsspezifikation des Geckos (Hongmiao Tian&all, 2020)

Als Projekt für Schüler kann dieses Beispiel von Schülern untersucht werden, um zu erfahren, wie Geckos an Oberflächen haften, und um Ideen zu sammeln, wie diese Funktion nachgeahmt werden kann.

Erweitert mit AR:

- Verwenden Sie **Reality Composer** oder ähnliche Tools, um den Schülern die Strukturen der Geckofüße in mikroskopischem Maßstab in AR zu visualisieren.
- Interaktive Simulationen können zeigen, wie Van-der-Waals-Kräfte die Haftung selbst auf glatten Oberflächen ermöglichen.
- Die Schüler können virtuelle Designs, die von der Haftung des Geckos inspiriert sind, wie z. B. Robotik oder medizinische Geräte, testen und anpassen.

Neues Lernergebnis: Die Schüler verstehen die Wissenschaft hinter der Haftung und ihr Potenzial für innovative Problemlösungen, wie z. B. die Entwicklung sichererer Kletterausrüstung oder Unterwasser-Klebstoffe.

• Waben

Die Wabe wird von Bienen in völliger Dunkelheit hergestellt und besteht aus einer perfekten hexagonalen Zellstruktur, die eine optimale Packungsform bietet. Für Honigbienen erfüllt diese Geometrie ihr Bedürfnis, mit einem Minimum an Material eine Struktur zu schaffen, die ein Maximum an stabiler Aufbewahrung (Honig, Larven) bietet. Aus denselben Gründen ist die Wabe eine ideale Struktur für die Konstruktion von Steuerflächen eines Flugzeugs und findet sich in den Tragflächen, Höhenrudern, dem Heck, dem Boden und vielen anderen Teilen, die Festigkeit und große Abmessungen bei gleichzeitig geringem Gewicht erfordern.

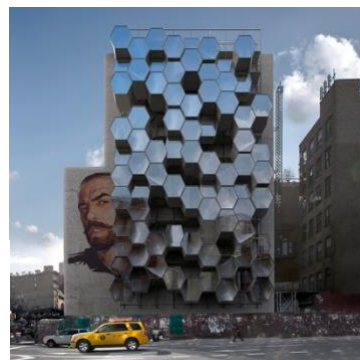


Abbildung 10.3D-gedrucktes „Homed“ von Framlab bietet Obdachlosen in New York Schutz gemäß Wabenstruktur.<https://www.dezeen.com>



Indem sie diese Idee als Schülerprojekt interpretieren, untersuchen die Schüler die Wabengeometrie, um ihre Festigkeit und Materialeffizienz zu verstehen.

Erweitert mit AR:

- Verwenden Sie AR-Tools wie **Sketchfab**, um immersive Erfahrungen mit Wabenstrukturen zu ermöglichen, sodass die Schüler analysieren können, wie deren Geometrie den Raum und den Materialeinsatz optimiert.
- Um den direkten Nutzen dieser Prinzipien zu demonstrieren, simulieren Sie reale Anwendungen wie von Waben inspirierte architektonische Entwürfe oder Flugzeugkomponenten in AR.

Neues Lernergebnis: Die Schüler verbinden die strukturelle Effizienz natürlicher Designs mit nachhaltigen Verfahren in Technik und Architektur.

Berücksichtigung der Biomimetik für planetare Anwendungen:

Für zukünftige Anwendungen in der Weltraumforschung bietet die Biomimetik eine Vielzahl von Konzepten, die potenziell zur Entwicklung neuer Technologien und zur Verbesserung der verfügbaren Fähigkeiten genutzt werden können. So lassen sich die potenziellen Vorteile für zukünftige NASA-Missionen nutzen, die sich aus der Nachahmung der Natur ergeben. Als potenzielle Anwendung dieser Materialien ist vorstellbar, dass die Verfügbarkeit starker und robuster künstlicher Muskeln auf Basis von EAP-¹-Materialien es uns in den kommenden Jahren ermöglichen könnte, biomimetische Roboter mit Beinen herzustellen, die so schnell wie ein Gepard laufen, Lasten wie ein Pferd tragen, steile Klippen wie ein Gecko erklimmen, ihren Körper wie ein Oktopus umformen, wie ein Vogel fliegen und Tunnel wie ein Gopher graben können. Dies ist eine unglaubliche Vision für Roboter, die potenziell zur Erforschung von Planeten im Universum eingesetzt werden könnten, und sie könnte zu zukünftigen

Planetenmissionen führen, die auf einem Drehbuch für den Betrieb des Roboters basieren, das Science-Fiction-Ideen folgt. Zu den Aufgaben, die solche Roboter möglicherweise ausführen müssen, gehören der autonome Betrieb zur Erkennung von Wasser, verschiedenen Ressourcen und möglicherweise biologischen Indikatoren bei der Suche nach vergangenem oder gegenwärtigem Leben oder sogar der Bau von Einrichtungen für zukünftige menschliche Lebensräume. Sobald solche Roboter zuverlässig genug sind, um in der rauen Umgebung des Weltraums zu operieren, können sie als menschliche Stellvertreter bei der Ausführung von Aufgaben fungieren, die menschliche Fähigkeiten erfordern, ohne dass echte Personen unnötigen Gefahren ausgesetzt werden.

Weltraumanwendungen gehören zu den anspruchsvollsten hinsichtlich der Härte der Betriebsbedingungen und erfordern ein hohes Maß an Robustheit und Haltbarkeit. Die Herstellung biomimetischer Fähigkeiten unter Verwendung elektroaktiver Materialien wird es der NASA möglicherweise ermöglichen, Missionen auf anderen Planeten mit Robotern durchzuführen, die menschliche Operationen vor der Landung von Menschen nachahmen. Im

¹ Elektroaktive Polymere (EAPs) sind Polymere, die bei Stimulation durch ein elektrisches Feld eine Veränderung ihrer Größe oder Form zeigen. Die häufigsten Anwendungsbereiche für diese Art von Material sind Aktoren und Sensoren.

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."



Allgemein sind die Anforderungen und Herausforderungen, die mit der Herstellung von Hardware auf der Grundlage der neuen Technologie für die Raumfahrt verbunden sind, sehr schwer zu bewältigen.

Da solche Anwendungen jedoch in der Regel nur kleine Stückzahlen umfassen, können sie einen wichtigen Weg für die Einführung und Erprobung neuer Aktoren und Geräte bieten. Dies steht im Gegensatz zu kommerziellen Anwendungen, bei denen Fragen der Massenproduktion, der Verbrauchernachfrage und der Stückkosten für den Transfer der Technologie in die praktische Anwendung entscheidend sein können. Im Allgemeinen können biologisch inspirierte Roboter, die von EAP-Aktuatoren angetrieben werden, Fähigkeiten aufweisen, die denen natürlicher Lebewesen überlegen sind, da diese Roboter nicht durch die für biologische Lebewesen entscheidenden Anforderungen der Evolution und des Überlebens eingeschränkt sind. Bar-Cohen und seine Mitforscher konstruierten einen Miniatur-Roboterarm, der von einem EAP-Aktuator angehoben wurde, der auf gerolltem dielektrischem Elastomer basiert und als Linearaktuator betrieben wird. Telepräsenz in Kombination mit virtueller Realität unter Verwendung haptischer Schnittstellen bietet ein weiteres wichtiges Potenzial für Weltraumanwendungen, insbesondere um den direkten Kontakt von Menschen mit gefährlichen Bedingungen zu vermeiden.

Bar-Cohen und sein Forschungsteam entwickelten ein neuartiges Design, bei dem ein minimalinvasiver Roboterarm als chirurgisches Instrument in einer Tintenfischkonfiguration mit mehreren Freiheitsgraden und Tentakeln konstruiert werden kann, die mit verschiedenen Werkzeugen ausgestattet sind. Um eine solche Möglichkeit zu realisieren, wurde eine Kombination aus EAP als Aktuatoren und elektrorheologischen Flüssigkeiten (ERFs) in Betracht gezogen, bei der die Steifigkeit eines solchen flexiblen Roboterarms gesteuert werden kann und

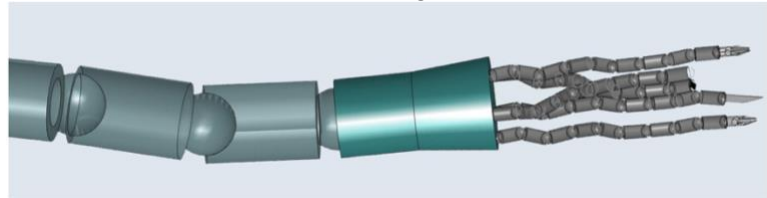


Abbildung 17. Grafische Darstellung eines Katheters in Tintenfischkonfiguration für chirurgische Anwendungen. (Bar-Cohen, 2006)

Das Projekt „**Consideration of Biomimetics for Planetary Application**“, das biomimetische Roboter für die Weltraumforschung vorsieht, kann ebenfalls durch AR-Tools erheblich verbessert werden. Durch die Integration von AR können Studenten und Forscher bioinspirierte Roboterkonzepte simulieren, visualisieren und damit experimentieren, wodurch sie ihr Verständnis und ihre Kreativität bei der Entwicklung von Lösungen für raue planetarische Umgebungen verbessern können.

Das Projekt untersucht biomimetische Konzepte wie künstliche Muskeln, geckoähnliches Klettern und oktopusähnliche Rekonfiguration, um Roboter zu entwickeln, die unter rauen planetarischen Bedingungen eingesetzt werden können.





Verbesserte Konzentration mit AR:

Mithilfe von AR können Studierende:

1. die Bewegung und Anpassungsfähigkeit biomimetischer Designs in extremen Umgebungen visualisieren.
2. Aufgaben wie die Erkundung von Ressourcen oder den Bau von Lebensräumen auf anderen Planeten simulieren.
3. Prototypen bioinspirierter Roboter in virtuellen Simulationen planetarischer Bedingungen erstellen und testen.

1. Erforschung biomimetischer Bewegungen

- Tool: Verwenden Sie JigSpace oder Assemblr EDU, um 3D-AR-Modelle von biomimetischen Robotern bereitzustellen, die von Geparden, Geckos oder Tintenfischen inspiriert sind.
- Aktivität:

Die Schüler manipulieren AR-Modelle, um zu beobachten, wie biologische Anpassungen (z. B. die Haftfähigkeit von Geckos oder die Geschwindigkeit von Geparden) in Roboterfunktionen umgesetzt werden.

Simulieren Sie Bewegungen wie das Klettern auf Klippen oder die Umgestaltung von Formen für verschiedene Aufgaben.

2. Simulation von Weltraumanwendungen

- Tool: Nutzen Sie Merge Cube, um AR-Umgebungen zu erstellen, die Planetenoberflächen wie Mars oder Mond nachbilden.
- Aktivität:

Die Schüler testen AR-basierte Roboter auf virtuellen Terrains mit simulierten Umweltbedingungen wie geringer Schwerkraft oder extremen Temperaturen.

Visualisieren Sie, wie künstliche Muskeln und biomimetische Designs Aufgaben wie die Gewinnung von Ressourcen oder den Aufbau von Lebensräumen ermöglichen.

3. Prototyping von Robotern mit AR

- Tool: Verwenden Sie Reality Composer, damit die Schüler bioinspirierte Roboterkomponenten entwerfen und modifizieren können.
- Aktivität:

Die Schüler erstellen Prototypen von Roboterarmen mit EAP-Aktuatoren oder von Geckos inspirierten Klettermechanismen.





Simulieren Sie, wie diese Designs bestimmte Aufgaben bewältigen, z. B. das Sammeln von Proben oder den Bau modularer Lebensräume.

4. Herausforderungen beim kollaborativen Design

- Tool: Nutzen Sie **CoSpaces Edu** für gruppenbasierte AR-Simulationen.
- Aktivität:

Teams entwerfen multifunktionale Roboter, die mehrere biomimetische Prinzipien kombinieren (z. B. einen vom Gecko inspirierten Kletterarm und einen vom Geparden inspirierten Laufmechanismus).

Verwenden Sie AR, um diese Entwürfe gemeinsam zu visualisieren und zu verfeinern und die Fähigkeiten ihrer Roboter in einer simulierten Planetenmission zu präsentieren.

Fazit

Die Integration von Biomimikry in die pädagogische Praxis bietet Schülern eine einzigartige Gelegenheit, die Schnittstelle zwischen Biologie, Technik und Design zu erkunden und so Kreativität und Innovation zu fördern. Der Einsatz von Augmented-Reality-Tools (AR) macht das Lernen immersiver, interaktiver und spannender. Mit diesen Tools können Schüler komplexe biologische Systeme visualisieren, reale Anwendungen simulieren und bioinspirierte Lösungen in dynamischen virtuellen Umgebungen prototypisieren.

Diese Trainingseinheit wurde so strukturiert, dass sie die Lernenden durch die Phasen „Erkunden“, „Ausführen“ und „Verbessern“ führt und so einen umfassenden Ansatz zum Verständnis und zur Anwendung der Prinzipien der Biomimikry gewährleistet. In der Erkundungsphase erwerben die Schüler grundlegende Kenntnisse über bioinspirierte Konzepte und nutzen AR zur Visualisierung biologischer Modelle. Die Ausführungsphase legt den Schwerpunkt auf praktische Projekte, kollaborative Problemlösung und Echtzeit-Feedback durch AR-Simulationen. Schließlich werden in der Phase „Verbessern“ fortgeschrittene Lernstrategien wie Gamification und AR-basierte Bewertungen eingeführt, um das Verständnis zu vertiefen und Innovationen zu fördern.

Die folgende Tabelle fasst die Kernelemente jeder Phase zusammen und beschreibt detailliert, wie AR-Tools integriert werden, um die Lernziele zu unterstützen. Durch die Einbettung dieser Tabelle in die Trainingseinheit können Pädagogen und Lernende leicht auf das Rahmenwerk zurückgreifen und die transformative Rolle von AR in der Biomimikry-Ausbildung würdigen.





Phase	Beschreibung
Erkunden	- Forschung und Entdeckung: Die Schüler beschäftigen sich mit den Grundkonzepten der Biomimikry und erforschen biologische Prinzipien wie die Anpassung von Form und Funktion sowie die Optimierung durch natürliche Prozesse.
	- Inhaltsentwicklung: Interaktive AR-Tools wie JigSpace bieten 3D-Modelle (z. B. Mikrostruktur von Lotusblättern, Wabengeometrie), um Konzepte zu visualisieren und sie mit technischen Anwendungen in Verbindung zu bringen.
	- Bedarfsanalyse: Lehrer und Schüler analysieren die Herausforderungen bei der Abstraktion biologischer Strategien für technische Anwendungen.
Durchführung	- Umsetzung des Lehrplans: Der Unterricht umfasst Projekte wie das Reverse Engineering von Blumen oder das Entwerfen von bioinspirierten Robotern.
	- Interaktive Übungen: AR-basierte Tools wie Assemblr EDU werden für Prototypen und Simulationen verwendet. Beispielsweise entwerfen die Schüler virtuelle, von Geckos inspirierte Kletterwerkzeuge oder simulieren von Inchworms inspirierte Linearantriebe.
	- Feedback-Erfassung: Die Lehrer sammeln Erkenntnisse aus AR-gestützten Projekten und konzentrieren sich dabei darauf, wie AR das Verständnis und das Engagement verbessert.
Verbessern	- AR-Integration: Einführung von AR-gestützten Visualisierungen für fortgeschrittene Biomimikry-Konzepte, wie z. B. von Geckos oder Geparden inspirierte Robotersimulationen.
	- Interaktives Lernen: Die Schüler erkunden planetarische Anwendungen und testen AR-basierte Modelle für Roboter in extremen Umgebungen wie dem Mars. Kollaborative Tools wie CoSpaces Edu erleichtern die Teamarbeit beim Entwurf multifunktionaler Roboter.
	Gamifizierte Inhalte: Punkte, Abzeichen und Ranglisten sind in AR-Simulationen integriert (z. B. das Sammeln von Belohnungen für das Lösen von biomimetischen Designherausforderungen).
	AR-basierte Bewertungen: AR-fähige Bewertungen ermöglichen es den Schülern, Biomimikry-Anwendungen interaktiv zu demonstrieren, z. B. durch die Simulation von Umweltanpassungen oder das Testen von bioinspirierten Prototypen.





Referenzen:

Autumn K und Peattie A M 2003 Mechanismen der Adhäsion bei Geckos J. Integr. Comp. Biol. 42 1081–90.

Autumn K, Sitti M, Liang Y A, Peattie A M, Hanen W R, Sponberg S, Kenny T W, Fearing R, Israelachvili J N und Full R J 2002 Evidence for van der Waals attachment by gecko foot-hairs inspires design of synthetic adhesive Proc. Natl Acad. Sci. USA 99 12252–6.

Benyus, Janine M. Biomimikry: Innovation inspiriert von der Natur. New York, NY: William Morrow and Company, Inc., 1997.

Ciloglu.T, Ustun.A.B. 2023. Die Auswirkungen mobiler AR-basierter Lernerfahrungen im Bereich Biologie auf die Motivation, Selbstwirksamkeit und Einstellung von Studierenden beim Online-Lernen. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10030-7>

Dzenis Y 2004 Spinning continuous fibers for nanotechnology Science 304 1917–9.

Hwang J, Jeong Y, Park JM, Lee KH, Hong JW, Choi J.2015. Biomimetik: Prognosen für die Zukunft von Wissenschaft, Technik und Medizin. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S83642>.

Helena Hashemi Farzaneh. 2019. Ein praktischer Leitfaden für bioinspiriertes Design, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57684-7>, ISBN 978-3-662-57683-0.

Hongmiao Tian, Haoran Liu, Jinyou Shao ORCID-Logo, Shuai Li, Xiangming Li und Xiaoming Chen. 2020. Ein elektrisch aktiver, weicher Greifer mit Gecko-Effekt unter Niederspannung durch Nachahmung der Haftstrukturen und Zehenmuskeln des Geckos. DOI: 10.1039/D0SM00787K.

Keto JE (1960) Bionik – neue Grenzen der Technologie durch die Verschmelzung der Bio- und Physio-Disziplinen (Grundsatzrede). In: Robinette JC (Hrsg.) Bionics Symposium: Lebende Prototypen – der Schlüssel zu neuer Technologie, S. 7–12.

Lukosch.S, Billinghamst.M, Alem.L, Kiyokawa.K. 2015. Zusammenarbeit in der erweiterten Realität. DOI 10.1007/s10606-015-9239-0

Mansour.N, Aras.C, Staarman.J.K,Bader.S, Alotaibi.M. 2024. Verkörpertes Lernen wissenschaftlicher Konzepte durch Augmented-Reality-Technologie. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13120-0>

Nachtigall W, Wissner A (2015) Bionik anhand von Beispielen: 250 Szenarien von der Antike bis zur Moderne. Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London.

Nilsson, S., Johansson, B., Jönsson, A., (2008), Design von Augmented Reality für die Zusammenarbeit, Tagungsband der 7. ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, VRCAI 2008. <https://doi.org/10.1145/1477862.1477920>

Shin.T.J, Jennings.C, Ed.D. 2013. AUGMENTED REALITY AND DESIGN PROCESS: THE NEW ROLE OF AUGMENTED REALITY IN DESIGN PROCESS. IDSA 2013 EDUCATION SYMPOSIUM, https://www.idsa.org/wp-content/uploads/Shin_Ted-Paper_AUGMENTED_REALITY_AND_DESIGN_PROCESS.pdf?utm_source=chatgpt.com





Subran.S, Diyana Mahmud.S.N. 2024. Augmented Reality (AR)-Technologie in der Biologie- und Lebenswissenschaftsausbildung: Eine systematische Literaturübersicht (SLR). DOI:10.6007/IJARPED/v13-i1/20455

The Biomimicry Institute, „Inspiring, educating and connecting biomimics through the world“ (Biomimik inspirieren, vermitteln und weltweit vernetzen), 2007–2009. Abgerufen am 5. August 2009. <http://www.biomimicryinstitute.org>. Copyright © 2009 by Regents of the University of Colorado.

Yoseph Bar-Cohen. 2012. Biomimetics: Nature-Based Innovation, Taylor & Francis Group.

Yoseph Bar-Cohen. 2006. Biomimetics – using nature to inspire human innovation. CA 91109-8099, USA.

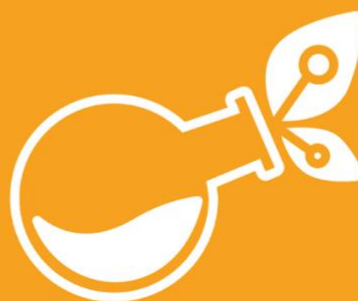
Vardar-Ulu.D, Ragab.S.E, Agrawal.S, Dutta.S .2024. Einsatz von Augmented Reality in molekularen Fallstudien zur Verbesserung der Erforschung biomolekularer Strukturen und Funktionen in Vorlesungen für Bachelor-Studierende. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00019-24>

Wei Wang et al. „Fortbewegung eines von Inchworms inspirierten Roboters aus intelligentem weichem Verbundwerkstoff (SSC).“ Bioinspiration & Biomimetics. DOI: 10.1088/1748-3182/9/4/046006.





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU

AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

*Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.