



Co-funded by
the European Union

Stellen Sie sich eine Zukunft mit einem bionischen Körper vor, der AR nutzt



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."





INHALTSVERZEICHNIS

·	Einleitung.....	2
·	Modul „Entdecken“:	3
·	Naturfähigkeiten:	3
·	Integration von Augmented Reality (AR): Verbesserung des bioinspirierten Lernens.	4
·	Biologie als Vorbild: Überbrückung von Natur und Technologie durch AR- Integration.....	4
·	Augmented Reality zum Verständnis biologischer und technologischer Analogien.....	5
·	Biomimetische Inspiration für Robotik und KI durch AR	6
·	Biologische Materialien für den menschlichen Körper.....	7
·	Augmented Reality (AR) in der bioinspirierten Materialwissenschaft.....	8
·	Multifunktionale und nachhaltige Biomaterialien.....	11
·	Biosensoren und ihre Anwendungen: Eine neue Dimension mit Augmented Reality (AR).....	12
·	Bioelektronische Sensoren: Fortschritte in der AR-gestützten Diagnostik.....	13
·	AR in der Entwicklung und Ausbildung im Bereich bionischer Prothesen.....	14





·	Ausführungsmodul: Bioinspirierte Bildverarbeitungstechnologien mit Augmented Reality (AR).....	14
·	Ausführungsmodul: Bioinspirierte Bildverarbeitungstechnologien mit Augmented Reality (AR).....	15
·	Fazit.....	18
·	Referenz.....	19





Allgemeines Thema des Lernpfads	Stellen Sie sich die Zukunft mit einem bionischen Körper vor
Spezifischer Name der Lerneinheit	Bio-Inspiration, Innovation und der menschliche Körper
Alter der Zielgruppe	14–18 Jahre
Anforderungen an die Lernenden	Grundkenntnisse in Mathematik, Biologie, Physik und Chemie Zugang zu AR-kompatiblen Geräten (Smartphones, Tablets oder AR-Brillen)
Beschreibung der Lerneinheit	Diese Einheit führt Lehrer und Schüler in einem multidisziplinären Lernprozess in die Bio-Inspiration ein und nutzt dabei Augmented Reality (AR) für ein immersiveres und interaktiveres Erlebnis. • Die Schüler untersuchen, wie die Natur Lösungen in der Biomedizin, Robotik und Prothetik inspiriert, und verwenden dabei AR-Simulationen, um bioinspirierte Technologien in Anwendungen für den menschlichen Körper zu visualisieren. • AR-Tools ermöglichen es den Nutzern, mit 3D-Modellen von bionischen Gliedmaßen, künstlichen Organen und biomimetischen Materialien zu interagieren. • Durch AR-basierte Aktivitäten visualisieren und manipulieren die Schüler Molekülstrukturen, simulieren Biomechanik und beobachten den Einfluss der Natur auf menschliche Innovationen.
Thema: Beteiligte Parteien	Physik, Chemie, Biologie, Mathematik
Stichworte	Biologie, Bioinspiration, Biomimikry, Bidesign, menschlicher Körper, Augmented Reality





Wichtige Qualifikationen, Fähigkeiten und Kenntnisse, die erworben werden können	• Verständnis der Rolle der Natur in der wissenschaftlichen Innovation • Erforschung biomimetischer Lösungen für Herausforderungen des menschlichen Körpers • Praktische Erfahrungen mit AR-basierten MINT-Anwendungen • Entwicklung von Problemlösungsfähigkeiten durch die Konzeption bioinspirierter Lösungen • Interdisziplinäres Lernen durch AR-gestützte Inhalte
Verwendete Ressourcen und didaktische Hilfsmittel	• Augmented-Reality-Anwendungen für interaktives Lernen • 3D-Simulationen bioinspirierter Designs (z. B. bionische Gliedmaßen, synthetische Haut) • Wissenschaftliche Artikel, Bücher und webbasierte AR-Bildungsplattformen • Videos, Animationen und virtuelle Fallstudien • Ergebnisse wissenschaftlicher Webinare und Experteninterviews
Bewertungskriterien und Evaluierung	• Erwerb von Wissen und Fähigkeiten, bewertet durch AR-basierte Quizfragen, interaktive Problemlösungsaufgaben und projektbasiertes Lernen • Präsentationen von Studierenden, in denen sie ihre eigenen bioinspirierten, AR-gestützten Entwürfe vorstellen • Bewertung des Engagements und des Verständnisses über AR-basierte Echtzeit-Feedbacksysteme

Einleitung

Über Millionen von Jahren hat die Evolution die Natur zu einer beispiellosen Quelle hocheffizienter Lösungen geformt. Durch das Studium und die Nachahmung biologischer Systeme hat der Mensch bahnbrechende Technologien entwickelt, die unser Leben verbessern. Von der Robotik bis zur Medizin – bioinspirierte Innovationen erweitern weiterhin die Grenzen des Möglichen.

Mit dem technologischen Fortschritt wächst auch unsere Fähigkeit, die Designs der Natur nachzubilden und anzupassen. Eine direkte Nachahmung ist jedoch nicht immer der effektivste Ansatz. Während beispielsweise Vögel den Menschen zum Fliegen inspiriert haben, schlagen moderne Flugzeuge nicht mit den Flügeln, sondern nutzen aerodynamische und technische Prinzipien, um größere Entfernungen zurückzulegen und schwerere Lasten zu transportieren. In ähnlicher Weise hat die Fortbewegung auf Rädern den Transport revolutioniert, steht jedoch vor





Herausforderungen bei der Navigation in komplexem Gelände, wo von Tieren inspirierte Roboter mit Beinen möglicherweise bessere Lösungen bieten.

Heute entwickeln Ingenieure und Wissenschaftler bioinspirierte Roboter, die die Anpassungsfähigkeit von Geckos, Tintenfischen und Libellen nachahmen, sich an Wänden festhalten, ihre Form verändern und 3D-Umgebungen in Echtzeit effizient verarbeiten können. Diese Innovationen bergen Potenzial für Anwendungen, die von der Weltraumforschung bis zu medizinischen Fortschritten reichen.

Durch die Integration von Augmented Reality (AR) können wir diese bioinspirierten Technologien nun auf eine immersivere Weise visualisieren, mit ihnen interagieren und sie verstehen. AR ermöglicht es Studierenden, 3D-Modelle bionischer Gliedmaßen zu erkunden, die Bewegungen bioinspirierter Roboter zu analysieren und die Mechanik der effizientesten Designs der Natur zu beobachten – und so die Biomimikry wie nie zuvor zum Leben zu erwecken (Zhang et al., 2024).

Während viele Aspekte der Biologie weiterhin unser Verständnis übersteigen, entwickelt sich der Bereich der Biomimetik weiter und schließt die Lücke zwischen natürlicher Intelligenz und menschlicher Innovation [Bar-Cohen und Breazeal, 2003]. Durch diese AR-gestützte Lernerfahrung beschäftigen sich die Studierenden aus erster Hand mit Biomimikry und gewinnen ein tieferes Verständnis für die Verschmelzung von Biologie, Ingenieurwesen und Technologie bei der Gestaltung der Zukunft.

Modul erkunden:

Naturfähigkeiten: Bio-Inspiration in Wissenschaft und Technologie

Der von Otto H. Schmitt (Schmitt, 1969) geprägte Begriff „Biomimetik“ bezieht sich auf die Erforschung und Nachahmung der Methoden, Mechanismen und Prozesse der Natur. Die Fähigkeiten der Natur übertreffen oft die menschliche Technologie und bieten Inspiration für effizientere, nachhaltigere und anpassungsfähigere Lösungen (Bar-Cohen, 2005; Vincent, 2001). Lebende Organismen funktionieren nicht als exakte Blaupausen, sondern als adaptive Systeme, die im Laufe der Zeit in der Lage sind, sich selbst zu reparieren, weiterzuentwickeln und zu optimieren. Im Gegensatz zu von Menschen hergestellten Produkten, die eine präzise Nachbildung erfordern, behalten biologische Strukturen ihre Effizienz und Funktionalität bei und bewahren gleichzeitig einzigartige individuelle Variationen innerhalb einer Spezies. Diese inhärente Anpassungsfähigkeit bietet einen wertvollen Rahmen für technologische Fortschritte.

Einer der auffälligsten Aspekte biologischer Systeme ist ihre zellbasierte Architektur, die Fehlertoleranz, Selbstreparatur und Wachstum ermöglicht. Wenn es uns gelingt, biomimetische Strukturen aus selbstregenerierenden Materialien zu entwickeln, könnten wir anpassungsfähige, widerstandsfähige Geräte konstruieren – ein Ansatz, der traditionell wie Science-Fiction erschien, aber mit den neuen Technologien zunehmend realisierbar wird.

Im Laufe der Evolution hat die Natur mit unzähligen Lösungen für Umweltprobleme experimentiert und die erfolgreichsten davon weiterentwickelt. Dieser natürliche Prozess des Ausprobierens hat zu Innovationen in den Bereichen Physik, Chemie, Mechanik, Materialwissenschaften, Mobilität,





Steuerungssysteme und sensorische Anpassung geführt. Die Skalierungsprinzipien der Natur, von Nano- und Mikro- bis hin zu Makro- und Megastrukturen, zeigen Effizienz auf allen Ebenen. Genetische Kodierung und Selbstreplikationsmechanismen haben es biologischen Organismen ermöglicht, ihre evolutionären Fortschritte zu archivieren und weiterzugeben (Bar-Cohen, 2006).

Biologische Materialien übertreffen künstlich hergestellte Materialien oft in Bezug auf Festigkeit, Flexibilität und Effizienz. So weisen beispielsweise Seide, Leder und Wolle (Carlson et al., 2005) Eigenschaften auf, die vielen synthetischen Alternativen überlegen sind. Die von Bienen auf natürliche Weise geschaffene Wabenstruktur ist ein Beispiel für das technische Genie der Natur: Sie ist leicht und dennoch unglaublich stabil und inspiriert Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, der Architektur und der Materialwissenschaft. Diese Beispiele unterstreichen zwar die biologische Effizienz, doch bleibt die Herausforderung bestehen, diese Designs effektiv in menschliche Technologien zu übertragen (Gordon, 1976).

Integration von Augmented Reality (AR): Verbesserung des bioinspirierten Lernens

Die Integration von Augmented Reality (AR) bietet einen transformativen Ansatz zum Verständnis biologischer Effizienz und Anpassung. Mithilfe interaktiver AR-Simulationen können Studierende und Forscher:

- 3D-Modelle biologischer Strukturen wie Wabenstrukturen, Spinnenseidenfasern und knochenähnliche Gerüste visualisieren und manipulieren, was eine vergleichende Analyse mit synthetischen Materialien ermöglicht.
- mit selbstreparierenden und adaptiven Materialien in AR interagieren, um zu erforschen, wie Prozesse auf zellulärer Ebene in biomimetische Technik umgesetzt werden könnten.
- mit evolutionären Prozessen durch AR-gesteuerte Simulationen experimentieren, die die Problemlösungsstrategien der Natur über verschiedene Zeitskalen hinweg demonstrieren.
- digitale Anmerkungen auf reale Objekte legen und biologische Muster mit künstlichen Strukturen in Echtzeit-Experimenten vergleichen.
- Verwenden Sie KI-gestützte AR-Anwendungen, um adaptive Materialeigenschaften zu simulieren und zu zeigen, wie biomimetische Prinzipien das strukturelle Design in Architektur, Robotik und Luft- und Raumfahrt verbessern können (Bacca et al., 2014, Billingham et al., 2015).

Durch die Kombination von Bio-Inspiration und AR können Schüler über das passive Lernen hinausgehen und sich aktiv mit dynamischen, interaktiven Modellen beschäftigen, wodurch die Lücke zwischen der Intelligenz der Natur und menschlicher Innovation geschlossen wird. Dieser praktische digitale Ansatz verbessert die MINT-Bildung und fördert kreative Problemlösungen, wodurch die nächste Generation von Ingenieuren und Wissenschaftlern dazu ermutigt wird, die Strategien der Natur für technologische Fortschritte zu nutzen.





Biologie als Vorbild: Überbrückung von Natur und Technologie durch AR-Integration

Die Natur hat einen enormen Pool an Innovationen entwickelt, die sich in einer sich ständig verändernden Umgebung in der Praxis bewährt haben und sich als langlebig erwiesen haben. Diese Lösungen, die durch Millionen von Jahren der Evolution perfektioniert wurden, dienen als unschätzbare Inspiration für technologische Fortschritte. Um das Potenzial der Natur voll auszuschöpfen, ist es entscheidend, eine starke interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Biologen und Ingenieuren aufzubauen. Dieser interdisziplinäre Ansatz erleichtert die Umwandlung biologischer Fähigkeiten in praktische technische Lösungen und ebnet den Weg für bioinspirierte Werkzeuge, Mechanismen und Systeme (Bar-Cohen, 2006).

Um die Natur aus technologischer Perspektive zu analysieren, müssen biologische Funktionen in technologische Anwendungen kategorisiert werden. Die folgende Tabelle enthält Beispiele für biologische Systeme und ihre technologischen Entsprechungen.

Biologie	Technologie	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 Gehirn	Struktur und Stützstreben Computer	Stützstrukturen sind Teil jedes von Menschen geschaffenen Systems Fortschritte bei der Entwicklung von Computern, die die Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachahmen
Geheimdienst	Künstliche Intelligenz	Viele Aspekte der künstlichen Intelligenz sind von der Biologie inspiriert, darunter Augmented Reality, autonome Systeme, Computerintelligenz, Expertensysteme, Fuzzy-Logik usw.
Sinne	Sensoren	Computersicht, künstliches Sehen, Radar und andere Näherungsdetektoren haben alle direkte biologische Entsprechungen. Allerdings sind die Fähigkeiten künstlicher Sensoren bei weitem nicht so gut wie die von Biosensoren.
Muskeln Elektrochemisch Stromerzeugung	Aktoren Wiederaufladbare Batterien	Elektroaktive Polymere sind Aktuatoren, die in ihrer Funktion natürlichen Muskeln ähneln. Die Nutzung biologischer Materialien zur Energieerzeugung bietet enorme Vorteile für mechanische Systeme





Tabelle 1: Charakteristische Ähnlichkeiten zwischen Biologie und technischen Systemen,
Quelle: Bar-Cohen, 2006

Augmented Reality zum Verständnis biologischer und technologischer Analogien

Herkömmliche Lernmethoden haben oft Schwierigkeiten, die komplexen Beziehungen zwischen Biologie und Technik effektiv zu veranschaulichen. Augmented Reality (AR) schließt diese Lücke, indem es Lernenden ermöglicht

- Interaktive 3D-Modelle über reale Objekte legen und so Echtzeitvergleiche zwischen biologischen und synthetischen Strukturen anstellen.
- Simulieren von KI-Lernmodellen, die von biologischer Intelligenz inspiriert sind, um Schülern die Visualisierung neuronaler Netzwerke und kognitiver Funktionen zu erleichtern (Billinghurst et al., 2015).
- AR-gestützte Präparationswerkzeuge zu verwenden, um biologische Sinnesmechanismen und ihre technischen Entsprechungen zu erforschen, wie z. B. von Geckos inspirierte Klebstoffe und bioinspirierte Bildsensoren.

Biomimetische Inspiration für Robotik und KI durch AR

Viele Fähigkeiten der Natur dienen als Vorlagen für fortschrittliche Robotik, Materialwissenschaften und Informatik. Zum Beispiel:

- Der stoßdämpfende Schädel des Spechts hat zu Schutzausrüstung und Dämpfungssystemen inspiriert.
- Die Van-der-Waals-Kraft des Geckos hat zur Entwicklung von Trockenklebstoffen und Kletterrobotern geführt.
- Bioinspirierte Fortbewegung hat die Agilität von Luft-, Unterwasser- und Geländegängigen Robotern verbessert.
- Die energieeffizienten Bewegungsstrategien der Natur, wie die adaptive Körperformung des Chamäleons oder die Flexibilität des Weichgewebes des Oktopus, beeinflussen formverändernde Roboterstrukturen (Bar-Cohen, 2006).

AR-Integration in biomimetischer Robotik und KI

Durch den Einsatz von Augmented Reality können Studierende und Forscher:

- Biomimetische Bewegungsprinzipien in AR-gestützten Simulationen testen und visualisieren, wie sich geckoähnliche Roboter, weichkörperige Kraken oder von Libellen inspirierte Drohnen bewegen und an verschiedene Umgebungen anpassen.
- AR-basierte biomechanische Demonstrationen nutzen, um zu analysieren, wie KI-gesteuerte Roboterglieder biologische Muskelstrukturen nachahmen.





- KI-basierte AR-Anwendungen trainieren, um auf reale Reize zu reagieren und biologische Entscheidungsprozesse in Robotersystemen nachzubilden (Dünser et al., 2012).

Bioinspirierte Miniaturgeräte: AR für die Entwicklung zukünftiger Technologien

Eine der größten Herausforderungen in der Biomimikry ist die Entwicklung von bioinspirierten Miniaturgeräten, die in der Lage sind:

Extrem wenig **fliegen**, wie eine Libelle
sich an glatten und rauen Wänden **festhalten können**, wie ein Gecko
sich an Umweltstrukturen **anzupassen**, wie ein Chamäleon
Komplexe 3D-Bilder in Echtzeit **zu verarbeiten**, ähnlich wie das menschliche Sehvermögen
Mobilitätsenergie **zu recyceln** und so die Energieeffizienz zu steigern
Sich selbst replizieren und mithilfe von Umweltressourcen wachsen
Erzeugung und Speicherung chemischer Energie, ähnlich wie bei biologischen Prozessen

AR-gesteuertes Design und Testen von bioinspirierten Miniaturgeräten

- AR-Prototyping ermöglicht die Echtzeit-Interaktion mit digitalen Modellen bioinspirierter Roboter und hilft Ingenieuren, Designs vor der physischen Produktion zu verfeinern.
- AR-basierte Sensortests ermöglichen es Studierenden, virtuell zu analysieren, wie biologische Sensoren wie Schnurrhaare oder Sonar die Wahrnehmung von Robotern verbessern könnten (Bacca et al., 2014).
- Virtual-Reality-Biolabore mit AR ermöglichen es Studierenden, bioinspirierte Energiespeicherlösungen wie photosynthese-basierte Batterien oder biologisch effiziente Energiesysteme zu simulieren.

Biologische Materialien für den menschlichen Körper:

Die Natur bietet eine umfangreiche Palette an Materialien mit vielfältigen Funktionen und ist damit eine wertvolle Inspirationsquelle für Materialwissenschaftler und Ingenieure. Biologische Materialien bilden die strukturelle Grundlage aller lebenden Organismen und ermöglichen es Zellen zu funktionieren, Augen Licht zu verarbeiten, Pflanzen aufrecht zu stehen und Tieren sich effizient zu bewegen. Diese natürlichen Materialien haben den Menschen dazu inspiriert, synthetische Alternativen zu entwickeln, die die Alltagstauglichkeit und den technologischen Fortschritt verbessern.

Von der Architektur bis zur Luft- und Raumfahrttechnik haben bioinspirierte Strukturen die Designprozesse revolutioniert. Beispiele hierfür sind leichte und dennoch stabile Wabenstrukturen, selbstreparierende Materialien und biologisch abbaubare Verbundwerkstoffe (Kemp, 2004; Nachtigall, 1998; Jeronimidis & Atkins, 1995). Obwohl natürliche Materialien aus einer begrenzten Anzahl organischer Komponenten bestehen, weisen sie bemerkenswerte Eigenschaften wie Flexibilität, Haltbarkeit und Anpassungsfähigkeit auf.



Im Gegensatz dazu basierten künstlich hergestellte Materialien in der Vergangenheit auf einem breiteren Spektrum chemischer Elemente, was zur Entwicklung von Legierungen, Polymeren und Verbundwerkstoffen führte. Die meisten industriellen Materialien erfordern jedoch eine Hochtemperaturverarbeitung, eine Einschränkung, die bei biologischen Materialien nicht besteht. Stattdessen baut die Natur komplexe Materialien unter Umgebungsbedingungen durch hierarchische Strukturierung und genetische Programmierung effizient auf (Lakes, 1993; Tirrell, 1994; Currey, 2005).

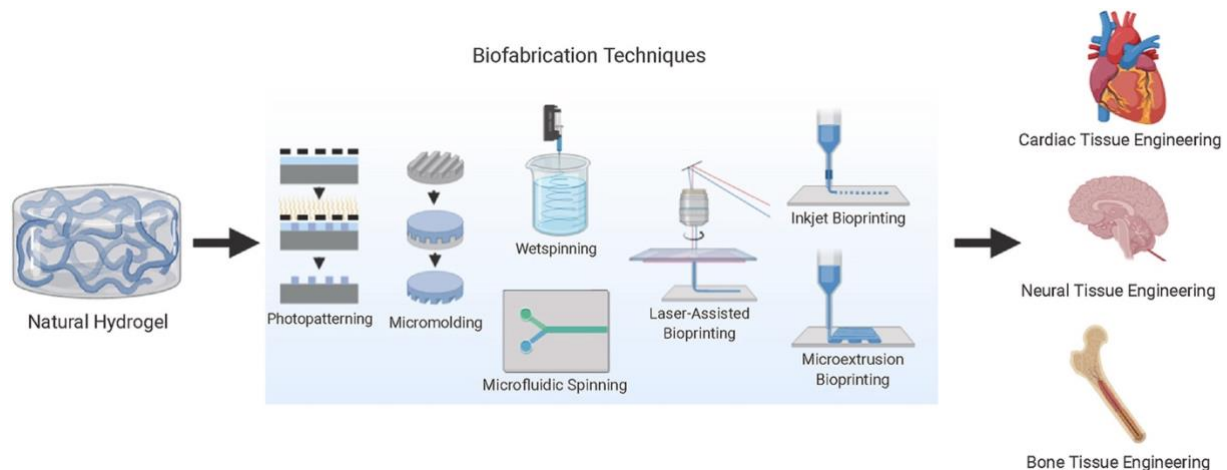


Abbildung 2: Biofabrikationstechniken, Quelle: Elkhoury.K &all, 2021

Augmented Reality (AR) in der bioinspirierten Materialwissenschaft

Die Komplexität biologischer Materialstrukturen macht es oft schwierig, sie mit traditionellen Methoden zu untersuchen. Augmented Reality (AR) bietet einen transformativen Ansatz zur Visualisierung, Analyse und Experimentierung mit biologischen Materialien durch:

Erstellung interaktiver 3D-Modelle biologischer Strukturen wie Spinnenseidenfasern, Wabenstrukturen und Weichteilgerüsten.

Durch Echtzeit-Materialsimulationen können Benutzer Parameter wie Festigkeit, Elastizität und biologische Abbaubarkeit verändern, um deren Auswirkungen zu untersuchen.

Durch die Überlagerung mit AR-gestützter Mikroskopie können Studierende biologische Strukturen im Nano- und Mikrobereich untersuchen (Bacca et al., 2014).

Entwicklung von AR-basierten Materialprüfungsanwendungen zur Simulation von mechanischer Beanspruchung, Haltbarkeit und Selbstheilungseigenschaften von bioinspirierten Materialien (Billinghurst et al., 2015).

Der Körper ist ein chemisches Labor, das natürliche Chemikalien verarbeitet und in Energie, Baumaterialien, Abfall und verschiedene multifunktionale Strukturen umwandelt (Mann 1995).

Der Mensch hat natürliche Materialien als Quellen für Nahrung, Kleidung, Komfort usw. erkannt,





darunter Fell, Leder, Honig, Wachs, Milch und Seide, um nur einige zu nennen (Carlson et al. 2005). Obwohl einige der Lebewesen und Insekten, die Materialien produzieren, relativ klein sind, können sie in Massenproduktion Mengen produzieren, die für den menschlichen Verbrauch ausreichen (z. B. Honig, Seide und Wolle). Die Verwendung natürlicher Materialien lässt sich über Jahrtausende zurückverfolgen. Seide, die zum Schutz des Kokons der Seidenraupe produziert wird, hat hervorragende Eigenschaften wie Schönheit, Festigkeit und Haltbarkeit. Diese Vorteile wurden vom Menschen erkannt, und die Notwendigkeit, sie in beliebiger Menge herzustellen, führte zur Produktion künstlicher Versionen und Imitate. Zu den faszinierenden Eigenschaften natürlicher Materialien gehören Selbstheilung, Selbstreplikation, Rekonfigurierbarkeit, chemisches Gleichgewicht und Multifunktionalität. Viele künstliche Materialien werden durch Erhitzen und unter Druck verarbeitet, im Gegensatz zur Natur, die immer unter Umgebungsbedingungen arbeitet.

Die Herstellung von biologisch hergestellten Materialien verursacht nur ein Minimum an Abfall und Umweltverschmutzung, da sie größtenteils biologisch abbaubar sind und von der Natur recycelt werden. Indem wir lernen, wie man solche Materialien verarbeitet, können wir unsere Materialauswahl erweitern und unsere Fähigkeit verbessern, recycelbare Materialien herzustellen, die die Umwelt besser schützen (Bar-Cohen, 2006).

Bioinspiration führt direkt zu einem Bereich der Wissenschaft, der derzeit an Bedeutung und Interesse gewinnt: der Wissenschaft und insbesondere der Materialwissenschaft der weichen Materie (Hamley IW, 2013). Die Materialwissenschaft entwickelte sich um „harte“ Strukturen herum (langlebig, in Form und Funktion festgelegt, widerstandsfähig gegen Beschädigungen). Die meisten biologischen Systeme (sogar Knochen bis zu einem gewissen Grad) sind „weich“, d. h. elastisch und leicht verformbar. Diese Art von Materie ist viel weniger erforscht als „harte“ Materie und bietet daher Möglichkeiten für Entdeckungen und Erfindungen, die (in der Wissenschaft) relativ unerforscht sind und gleichzeitig sowohl unabhängig von der Biologie als auch für die Biologie relevant sind. Das Verständnis, wie Organismen weiche Materie wie Muskeln, Sehnen, Bindegewebe, Membranen und Nerven nutzen, bietet eine enorme Bandbreite an Ideen für neue weiche Wissenschaft (Whitesides, 2015).

Es gibt einige Beispiele für biologische Materialien und ihre Eigenschaften:

- **Starke Fasern aus Spinnennetzen**



Die Spinne ist einer der besten „Fertigungsingenieure“ in der Biologie und verfügt über eine unglaublich effektive Fähigkeit zur Herstellung von Materialien. Sie webt ihr Netz aus einer robusten, unlöslichen, leichten Endlosfaser, die gegen Regen, Wind und Sonnenlicht beständig ist. Es besteht aus fantastischen Fasern, die kaum sichtbar sind, um ihre Funktion als Insektenfalle zu erfüllen. Die Spinne verfügt über genügend Rohmaterial für ihre Seide, um das Netz über große Entfernungen um ihren Körper zu spannen. Netze in verschiedenen Formen (einschließlich flacher) sind oft zwischen weit entfernten Bäumen zu sehen, und das Netz ist im Vergleich zur Größe der Spinne überraschend groß. Jüngste Fortschritte in der Nanotechnologie versprechen die Herstellung feiner, kontinuierlicher Fasern mit enormer Festigkeit. Zu diesem Zweck wurde ein Elektrospinnverfahren entwickelt (Dzenis 2004), das die Herstellung von Fasern mit einem Durchmesser von 2 µm aus Polymerlösungen oder -schmelzen in hohen elektrischen Feldern ermöglicht. Die resultierenden Nanofasern erwiesen sich als relativ gleichmäßig und aufwendige Reinigung.

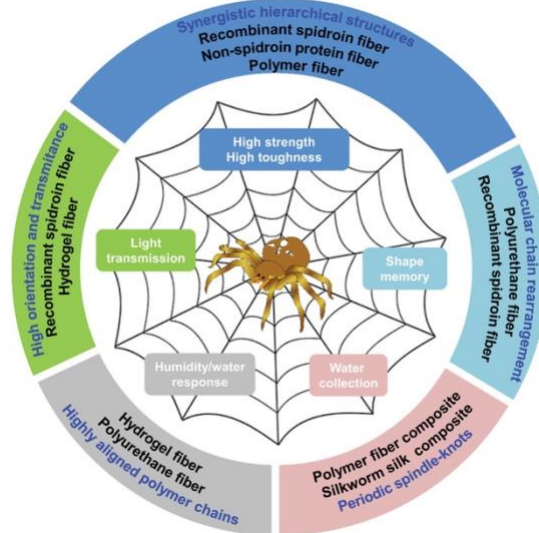


Abbildung 3: Spinnennetz, Quelle: Jiatian & all, 2021

AR-Anwendungen in der Spinnenseidenforschung

3D-AR-Simulationen von Spinnenseidenstrukturen können molekulare Wechselwirkungen demonstrieren, die für ihre Festigkeit und Flexibilität verantwortlich sind. AR-basierte Zugprüfungssimulationen ermöglichen es den Studierenden, mit verschiedenen Biopolymermodifikationen zu experimentieren, um die Produktion von künstlicher Seide zu verbessern.

• Die Honigbiene ist Produzentin verschiedener Materialien

Die Biene stellt aus dem Nektar, den sie von Blumen sammelt, Honig her und produziert eine Wabe aus Wachs. Früher wurden Kerzen aus Bienenwachs hergestellt, aber mit dem



Aufkommen der Erdölindustrie werden Kerzen heute meist aus Kerosinwachs hergestellt (Bar-Cohen, 2006).

AR-Anwendungen in der Wabenkonstruktion

Mit virtuellen AR-Testtools können Studierende die Abmessungen von Wabenzellen verändern und die Veränderungen der Tragfähigkeit in Echtzeit beobachten. Durch vergleichende AR-Modellierung können natürliche Wabenstrukturen mit technischen Gitterwerkstoffen überlagert werden, was eine direkte Effizienzanalyse ermöglicht (Dünser et al., 2012).

• Multifunktionale Materialien

Durch die Verwendung von Materialien, die mehrere Funktionen erfüllen, kann die Natur Lebewesen mit einem geringeren Körpergewicht ausstatten. Viele Forscher und Ingenieure beschäftigen sich mit den Konzepten multifunktionaler Materialien und Strukturen (Nemat-Nasser et al. 2005). Es werden zunehmend Anstrengungen unternommen, diese Eigenschaft mithilfe verschiedener Disziplinen wie Materialwissenschaft, angewandte Mechanik, Elektronik, Photonik und Fertigung nachzuahmen.

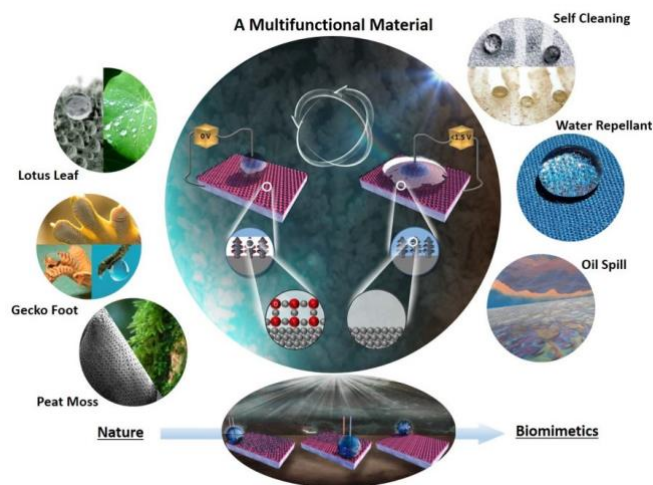


Abbildung 4: Multifunktionales Material Quelle: Zahiri & all, 2017

Weiche biologische Materialien wie Muskeln, Bindegewebe und Zellmembranen dienen als Inspiration für bioengineerte weiche Robotik und reaktionsfähige Materialien. Während sich die traditionelle Materialwissenschaft auf starre Strukturen konzentriert hat, ermöglicht das aufstrebende Gebiet der Weichstoffwissenschaft die Entwicklung hochgradig anpassungsfähiger, elastischer und multifunktionaler Materialien (Hamley, 2013).





AR für die Erforschung weicher Materie

AR-gestütztes Biomaterialdesign ermöglicht es Studierenden, verformbare, weiche Materialien zu visualisieren und mit ihnen zu interagieren, um ihr mechanisches und chemisches Verhalten zu simulieren.

Bioinspirierte Robotertests in AR können flexible Strukturen nachbilden, die sich wie die eines Oktopus verhalten und ihre Form als Reaktion auf Umweltreize verändern.

Multifunktionale und nachhaltige Biomaterialien

Eine der bemerkenswertesten Eigenschaften der Natur ist ihre Fähigkeit, multifunktionale Materialien zu entwickeln, die Leistung, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in Einklang bringen. Die moderne Materialwissenschaft integriert nun bioinspirierte Multifunktionalität in Anwendungen in den Bereichen Ingenieurwesen, Gesundheitswesen und Nanotechnologie (Nemat-Nasser et al., 2005).

AR für nachhaltige Innovationen im Bereich Biomaterialien

AR-gestützte Tools zur Auswahl von Ökomaterialien ermöglichen es Benutzern, die Umweltauswirkungen von biobasierten und synthetischen Materialien zu vergleichen. Virtuelle AR-Zersetzungssimulatoren können zeigen, wie biologisch abbaubare Materialien unter verschiedenen Umweltbedingungen zerfallen.

Die Erforschung bioinspirierter Materialien hat in den Bereichen Ingenieurwesen, Medizin und Nachhaltigkeit zu bedeutenden Fortschritten geführt. Herkömmliche Methoden der Materialanalyse können jedoch oft nicht die gesamte Komplexität biologischer Strukturen wiedergeben, was ihre Zugänglichkeit für Forscher und Studenten einschränkt. Augmented Reality (AR) entwickelt sich zu einem revolutionären Werkzeug, das diese Lücke schließt, indem es die interaktive Erforschung, virtuelle Experimente und digitale Simulationen bioinspirierter Materialien ermöglicht.

Jüngste Forschungsergebnisse unterstreichen die transformative Rolle von AR in der Biologie- und Materialwissenschaftsausbildung. Eine systematische Überprüfung von AR in der Biologieausbildung zeigte, wie interaktive Lernumgebungen das Verständnis der Studierenden für komplexe biologische Strukturen und biomimetische Materialien verbessern. In ähnlicher Weise wurde in einer Studie aus dem Jahr 2024 über bioinspirierte AR-Modelle ein digitaler Zwilling von *C. elegans* entwickelt, mit dem Benutzer neuronale und Muskelaktivitäten visualisieren und manipulieren können, was veranschaulicht, wie AR biologische Experimente in Echtzeit erleichtern kann (BioRxiv, 2024).

Darüber hinaus hat die Entwicklung von AR-basierten Anwendungen in der Biomedizin interaktive Tools für das Lernen über Biomaterialien, Nanotechnologie und Gewebeengineering hervorgebracht. Diese Anwendungen verbessern das Engagement und Verständnis und demonstrieren das Potenzial von AR, realistische biomimetische Prozesse zu simulieren (PMC, 2023).





Zukünftige Wissenschaftler und Ingenieure werden durch AR-gestützte Biomaterialienausbildung ein tieferes Verständnis für bioinspirierte Materialien erlangen, was zu effizienteren, nachhaltigeren und leistungsfähigeren Innovationen führen wird. Durch die Möglichkeit der Echtzeit-Interaktion mit biomimetischen Strukturen fördert AR eine neue Ära des digitalen Lernens und verbessert letztlich wissenschaftliche Entdeckungen und Anwendungen in verschiedenen Bereichen.

Biosensoren und ihre Anwendungen: Eine neue Dimension mit Augmented Reality (AR)

Biosensoren und ihre Rolle in der modernen Technologie verstehen

Biologische Sensorsysteme sind außergewöhnlich empfindlich und arbeiten auf molekularer und Quantenebene, um Veränderungen in der Umgebung zu erkennen. Diese hochentwickelten Mechanismen bilden die Grundlage für moderne Biosensoren, die biologische Prozesse nachahmen, um externe Reize zu überwachen, zu analysieren und darauf zu reagieren. Biosensoren haben verschiedene Branchen revolutioniert, von der Gesundheitsversorgung und Umweltüberwachung bis hin zur Sicherheit und Lebensmittelsicherheit. In unserem täglichen Leben sind von biologischen Prinzipien inspirierte Sensoren allgegenwärtig – sie regulieren die Temperatur in Gebäuden, verfolgen Bewegungen in Sicherheitssystemen, steuern berührungslose Spender und überwachen wichtige Gesundheitsparameter. Diese Fortschritte haben zu kontinuierlichen Verbesserungen in Bezug auf Empfindlichkeit, Effizienz und Miniaturisierung geführt, sodass Biosensoren selbst kleinste molekulare Veränderungen in ihrer Umgebung erkennen können.

Während Biosensoren jedoch immer weiterentwickelt werden, fällt es traditionellen Bildungs- und Forschungsmethoden oft schwer, ihre Komplexität effektiv zu veranschaulichen. Die Integration von Augmented Reality (AR) in die Biosensorik stellt einen innovativen Ansatz dar, der interaktive Visualisierung und Simulation ermöglicht und sowohl das Lernen als auch die Anwendung in der Praxis verbessert (Venkatesen et al., 2021).

Augmented Reality (AR) als Werkzeug zur Erforschung der Biosensorik

Die abstrakte Natur von Biosensor-Mechanismen macht es schwierig, sie anhand statischer 2D-Diagramme oder traditioneller Vorlesungen zu studieren. Augmented Reality (AR) begegnet dieser Herausforderung, indem sie eine immersive, interaktive und Echtzeit-Visualisierung der Biosensor-Funktionen ermöglicht.

Mit AR können Benutzer beispielsweise:

- 3D-Hologrammmodelle von Biosensoren erkunden und so auf molekularer Ebene mit Sensorstrukturen interagieren, beispielsweise mit Protein-Ligand-Wechselwirkungen in bioelektronischen Geräten.
- den Detektionsprozess von Biosensoren simulieren, wobei Benutzer verschiedene Substanzen eingeben und virtuelle Reaktionen auf chemische und biologische Reize in Echtzeit beobachten können.
- AR-gesteuerte Diagnosen aus der realen Welt überlagern, um medizinischen Fachkräften zu zeigen, wie Biosensoren den Glukosespiegel analysieren, Infektionen erkennen oder die Herz-Kreislauf-Gesundheit überwachen.





Dieser interaktive Ansatz verbessert das konzeptionelle Verständnis und fördert die Fähigkeit, Biosensor-Technologien in realen Umgebungen innovativ einzusetzen und anzuwenden.

Bioelektronische Sensoren: Fortschritte in der AR-gestützten Diagnostik

In letzter Zeit haben sich Biosensoren zu elektronischen Geräten entwickelt, die menschliche Sinnesorgane nachahmen. Zu den bemerkenswertesten Beispielen gehören elektronische Nasen und Zungen, die erfolgreich für industrielle und biomedizinische Anwendungen angepasst wurden.

- Elektronische Nasen (E-Nasen) replizieren menschliche Geruchsrezeptoren und ermöglichen es ihnen, Gerüche, Gase und flüchtige Verbindungen zu erkennen und zu klassifizieren. Diese Biosensoren werden in der Luftqualitätsüberwachung, Lebensmittelsicherheit und Krankheitsdiagnose eingesetzt.
- Elektronische Zungen (E-Zungen) funktionieren ähnlich und analysieren die chemische Zusammensetzung von Flüssigkeiten, wodurch sie für Arzneimitteltests, Umweltüberwachung und Qualitätskontrolle von Getränken nützlich sind.

Die Rolle von AR bei der Verbesserung der Forschung im Bereich bioelektronischer Sensoren

Mithilfe von Augmented Reality können Forscher und Studenten den chemischen Analyseprozess elektronischer Nasen und Zungen simulieren, wodurch sie:

- Molekulare Wechselwirkungen zwischen Biosensoren und chemischen Verbindungen zu visualisieren, wodurch Benutzer besser verstehen können, wie Sensoren zwischen verschiedenen Substanzen unterscheiden.
- sich mit interaktiven AR-Umgebungen zu beschäftigen, in denen Echtzeit-Datenüberlagerungen zeigen, wie Biosensoren Luftproben auf Schadstoffe analysieren oder Verderb in Lebensmitteln erkennen.

Diese praktische Erfahrung fördert ein tieferes Verständnis der Fähigkeiten von Biosensoren und ermöglicht es Studenten und Forschern, neue Anwendungen für die bioelektronische Technologie zu entwickeln.

5.4 Intelligente Polymere in der Biomedizintechnik: AR für die Materialsimulation

Polymere Biomaterialien sind in medizinischen Implantaten, der regenerativen Medizin und der Arzneimittellabgabe unverzichtbar geworden. Intelligente Polymere, wie z. B. Biomaterialien auf Citratbasis, sind so konzipiert, dass sie im Körper auf natürliche Weise biologisch abbaubar sind, wodurch sie sich ideal für Anwendungen wie temporäre Implantate und Wundheilung eignen (Tang et al., 2015).





- **AR-Anwendungen in der Forschung zu intelligenten Polymeren**

AR-Technologie wird eingesetzt, um die Visualisierung und Manipulation komplexer Molekülstrukturen zu verbessern, was in der Polymerforschung von entscheidender Bedeutung ist. Eine im Journal of Chemical Information and Modeling veröffentlichte Studie befasst sich damit, wie AR es Anwendern ermöglicht, dreidimensionale (3D) chemische Strukturen darzustellen und mit ihnen zu interagieren, was ein tieferes Verständnis der Molekülkonfigurationen und -verhalten ermöglicht. Diese Fähigkeit ermöglicht es Wissenschaftlern, Eigenschaften wie Elastizität, Abbaurate und Bioaktivität in Echtzeit-Virtual-Experimenten anzupassen, wodurch die Materialentwicklung beschleunigt und die Abhängigkeit von traditionellen Labormethoden verringert wird (Fombona-Pascual et al., 2022).

Darüber hinaus zeigt eine im Journal of Chemical Education vorgestellte Studie einen Arbeitsablauf zur Erstellung von 3D-Modellen von Polymeren unter Verwendung von Molekuldynamik und Blender-Software. Diese Modelle können auf Plattformen wie p3d.in gehostet werden, wo sie als AR-Darstellungen zugänglich sind. Mit solchen Tools können Forscher AR-gesteuerte Polymerintegrationsmodelle überlagern und so die Wechselwirkungen von Biomaterialien mit lebendem Gewebe vor der Implantation testen (Roshandel et al., 2023).

AR in der Entwicklung und Ausbildung von bionischen Prothesen

AR hat sich bei der Entwicklung und dem Training von bionischen Prothesen als vielversprechend erwiesen. Eine auf ResearchGate verfügbare Studie stellt den ARM Trainer vor, ein AR-basiertes System, das Amputierte im Umgang mit myoelektrischen Prothesen schult. Dieses System bietet eine natürliche und intuitive Methode für Benutzer, um ihre Muskelkontrolle zu entwickeln, und bietet haptisches Feedback in Echtzeit sowie immersive Simulationen. Solche Trainingsumgebungen helfen den Benutzern, sich an Griffkraft, Geschicklichkeit und Reaktionszeit anzupassen, wodurch die Anpassungsgeschwindigkeit und die Benutzererfahrung verbessert werden.

Darüber hinaus befasst sich eine in der digitalen Bibliothek IEEE Xplore veröffentlichte Studie mit der Entwicklung eines AR-Tools zur Unterstützung des Chemieunterrichts, das zwar auf die chemische Ausbildung ausgerichtet ist, aber die breitere Anwendbarkeit von AR bei der Verbesserung des Verständnisses komplexer Strukturen und Systeme unterstreicht. Dieses Tool ermöglicht die Visualisierung von Molekülstrukturen in 3D und bietet eine interaktive Lernerfahrung, die durch die Simulation der Interaktion von Prothesenkomponenten auf molekularer Ebene auf das Prothesentraining übertragen werden kann (Maier und Klinker, 2013). Diese Studien belegen insgesamt die Wirksamkeit von AR bei der Bereitstellung interaktiver, immersiver Echtzeit-Erfahrungen, die sowohl die brillante Polymerforschung als auch das Training mit bionischen Prothesen verbessern.





Ausführungsmodul: Bioinspirierte Bildverarbeitungstechnologien mit Augmented Reality (AR)

Panoptes und das bionische Auge: Ein neuer Lernansatz mit AR

Das Sehen ist für viele Organismen die wichtigste Sinnesmodalität, und biologische Sehsysteme inspirieren seit langem technische Innovationen. Das Verständnis, wie das Sehen im Nervensystem von Säugetieren verarbeitet wird, hat zu bahnbrechenden Fortschritten in der bionischen Augentechnologie und in robotergestützten Sehsystemen geführt.

Unser neuer Ansatz, Augmented Reality (AR), verbessert diese Lernerfahrung durch interaktive 3D-Visualisierungen biologischer und künstlicher Sehsysteme. AR ermöglicht es den Studierenden, zu analysieren, wie visuelle Informationen in natürlichen und technischen Systemen erfasst, verarbeitet und interpretiert werden, und fördert so ein tieferes, praktisches Verständnis von bioinspiriertem Design (Venkatesen et al., 2021).

AR-gestützte Experimente zur visuellen Wahrnehmung

In dieser Aktivität nehmen die Studierenden an einem interaktiven Modellversuch teil, um die Gesichtsfeldreaktion eines Panoptes-Roboter Auges abzubilden. Inspiriert von Argus Panoptes aus der griechischen Mythologie – dem allsehenden Wächterriesen mit 100 Augen – ist dieses System eine bioinspirierte Plattform zur Untersuchung des maschinellen Sehens und der Netzhautprothetik.

Mit AR-gestützten Simulationen können die Schüler:

- mit 3D-Modellen des menschlichen Sehsystems interagieren und verfolgen, wie Licht im primären visuellen Kortex erfasst, übertragen und interpretiert wird.
- Simulieren Sie Augenerkrankungen wie Retinitis pigmentosa und Makuladegeneration, um zu verstehen, wie Sehbeeinträchtigungen die Wahrnehmung beeinflussen.
- Überlagern Sie Echtzeit-AR-Visualisierungen auf das Panoptes-System, um zu veranschaulichen, wie sich unterschiedliche optische Reize auf die Verarbeitung von Bildern durch Roboter und biologische Sehsysteme auswirken.

Diese interaktiven AR-Erfahrungen ermöglichen es den Lernenden, mit visuellen Reizen zu experimentieren, Sensorkonfigurationen zu ändern und zu beobachten, wie neuronale Bahnen auf verschiedene Lichtmuster reagieren – ähnlich wie in der realen neurowissenschaftlichen Forschung (Venkatesen et al., 2021).

Technischer Zusammenhang: AR für die Erforschung von Netzhautprothesen und der Wiederherstellung des Sehvermögens

Das Sehvermögen von Tieren ist ein bemerkenswertes natürliches System, das Ingenieuren als Vorbild für die Entwicklung von Netzhautprothesen dient – künstlichen Implantaten, die das Sehvermögen von Menschen mit geschädigten Photorezeptorzellen wiederherstellen sollen. Diese biomedizinischen Geräte stimulieren direkt die Sehnervenzellen und umgehen dabei nicht funktionierende Bereiche der Netzhaut, um die visuelle Wahrnehmung wiederherzustellen.





Mit AR-gestützten medizinischen Schulungsmodulen können Studierende und Forscher:

- AR-Modelle von Netzhautimplantaten manipulieren, um deren strukturelles Design und Funktionalität zu untersuchen.
- reale Anwendungen von bionischen Sehsystemen simulieren, wie z. B. AR-gestützte Schnittstellen für Augenprothesen.
- die Übertragung von Sehnervensignalen durch interaktive AR-Overlays analysieren und so abbilden, wie visuelle Daten in neuronale Impulse umgewandelt werden.

Durch die Integration von AR in die bionische Augenforschung können Studierende in virtuellen Testumgebungen arbeiten, die klinische Bedingungen nachbilden, und so ihr Verständnis von Technologien zur Wiederherstellung des Sehvermögens verbessern (Anderson und Bischof, 2014).

Lernziele mit AR-Integration

Nach dieser AR-gestützten Übung sollten die Studierenden in der Lage sein

- den Sehweg und seine Rolle bei der Verarbeitung von Lichtreizen zu erklären
 - Interpretieren von Versuchsdaten mithilfe interaktiver AR-Histogramme und visueller Grafiken.
 - die räumliche Empfindlichkeit des visuellen Kortex zu analysieren und diese auf die Entwicklung des robotischen Sehens anzuwenden.
-
- Vergleichen des menschlichen Sehvermögens mit bioinspirierten optischen Systemen unter Verwendung von AR-basierten Simulationen.

Einführung und Motivation: Verbesserung des visuellen Lernens mit AR

Das Sehen spielt eine dominante Rolle in der menschlichen Wahrnehmung und beeinflusst, wie wir unsere Umgebung interpretieren und mit ihr interagieren. Die Ähnlichkeiten zwischen dem biologischen Sehen und kamerabasierten optischen Systemen liefern wertvolle Erkenntnisse für Ingenieure, die bioinspirierte Sensoren entwickeln.

Mithilfe von Augmented Reality können Schüler:

die Mechanik des menschlichen Auges und eines Kameraobjektivs in Echtzeit vergleichen, indem sie optische Modelle auf reale Objekte überlagern.

- Visualisieren, wie Licht im Auge gebrochen und fokussiert wird, indem sie seinen Weg von der Hornhaut bis zur Netzhaut verfolgen.
- mit einem simulierten Gesichtsfeld interagieren und Helligkeit, Kontrast und Fokus anpassen, um verschiedene Lichtverhältnisse nachzuahmen.





Durch die Integration interaktiver digitaler Überlagerungen können die Studierenden die Sehwissenschaft hautnah erleben und ihre Fähigkeit verbessern, biologische Prinzipien mit technologischen Innovationen zu verbinden.

Experimenteller Aufbau mit AR-Unterstützung

Das Panoptes-Roboter-Bildverarbeitungssystem ist ein bioinspiriertes optisches Gerät, das zur Modellierung und Analyse des Sichtfelds in künstlichen Bildverarbeitungssystemen verwendet wird. Das Experiment simuliert, wie verschiedene Lichtquellen mit Bildsensoren interagieren, sodass die Schüler die räumliche Empfindlichkeit durch eine kontrollierte Abfolge visueller Reize abbilden können.

Neue AR-gestützte Experimentierfunktionen

- AR-basierte Kartierung des Gesichtsfeldes: Die Studierenden können räumliche Empfindlichkeitsdiagramme digital auf das Panoptes-System legen, um zu sehen, wie sich unterschiedliche Lichtorientierungen auf die Wahrnehmung auswirken.
- Virtuelle Lichtverfolgungssimulationen: AR liefert Echtzeit-Feedback darüber, wie sich Roboter-Augen an Veränderungen der Beleuchtung und des Kontrasts anpassen.
- Neuronale Signalverarbeitung in AR: Interaktive AR-Modelle demonstrieren, wie Netzhautsignale an den visuellen Kortex übertragen werden, und vergleichen dabei gesunde mit beeinträchtigten Sehbahnen.

Diese verbesserten AR-Anwendungen ermöglichen es den Studierenden, die Versuchsbedingungen in Echtzeit zu ändern und so ihr Verständnis der visuellen Verarbeitung, der Sensoroptimierung und der Datenanalyse zu verbessern (Venkatesen et al., 2021).

Das Verfahren mit AR-Erweiterungen

Vor der Aktivität

- Bereiten Sie 3D-AR-Visualisierungen des menschlichen Auges, robotergestützter Bildverarbeitungssysteme und neuronaler Bahnen vor.
- Richten Sie Panoptes-Roboter-Sehmodelle ein und stellen Sie sicher, dass diese mit AR-gestützten visuellen Kartierungstools kompatibel sind.
- Stellen Sie den Schülern digitale Arbeitsblätter für die Echtzeit-Datenannotation und -analyse zur Verfügung.

Mit den Schülern (Tag 1 & 2)

Schritt 1: Erkundung der Sehwissenschaft mit AR

- Die Schüler verwenden AR-Tools, um zu untersuchen, wie Licht durch das Auge fällt und mit den Photorezeptorzellen interagiert.
- Simulierte AR-Umgebungen veranschaulichen, wie Sehbeeinträchtigungen die Tiefenwahrnehmung und Kontrastempfindlichkeit beeinflussen.





Schritt 2: AR-gestütztes Experiment zur Kartierung des Sehvermögens

- Die Schüler führen Black-Box-Experimente mit Panoptes durch und zeichnen auf, wie unterschiedliche Lichtorientierungen Robotersensoren stimulieren.
- AR-Overlays liefern visuelles Feedback in Echtzeit und heben die Aktivierungszonen der Sensoren und die Datenausgaben hervor.

Schritt 3: Datenanalyse und -interpretation mit AR

- Die Schüler stellen die Versuchsergebnisse mithilfe von AR-gestützten Histogrammen grafisch dar und vergleichen die Reaktionen des biologischen und des robotergestützten Sehvermögens.
- KI-gestützte AR-Simulationen verarbeiten große Datensätze und helfen den Schülern, aus ihren Ergebnissen aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen.

Bewertung und Beurteilung

Um die Lernergebnisse zu bewerten, werden die Schüler:

- Vor- und Nachquiz zur Bewertung ihres Verständnisses von biologischem und künstlichem Sehen absolvieren.
- Verwenden von AR-gestützten visuellen Analysewerkzeugen zur Interpretation von Echtzeit-Sensorantwortdiagrammen.
- an interaktiven Diskussionen darüber teilnehmen, wie AR die Forschung im Bereich bionische Augen und Anwendungen für robotergestütztes Sehen verbessert.

Fazit: Die Zukunft von AR in der Schwissenschaft

Die Integration von Augmented Reality (AR) in die bioinspirierte Bildverarbeitungsforschung verändert die Art und Weise, wie Studierende lernen, experimentieren und innovativ sind. Durch immersive 3D-Simulationen, interaktives visuelles Mapping und KI-gestützte Analysen schließt AR die Lücke zwischen biologischer Bildverarbeitungswissenschaft und technischen optischen Systemen.

Durch das Erleben von praxisorientiertem, AR-gestütztem Lernen wird die nächste Generation von Wissenschaftlern und Ingenieuren besser dafür gerüstet sein, fortschrittliche bionische Sehtechnologien, KI-gesteuerte Robotersensoren und erweiterte optische Schnittstellen zu entwickeln und so die Zukunft bioinspirierter Innovationen zu gestalten.

Phase	Beschreibung
1. Phase	- Untersuchung und Entdeckung: Die Schüler untersuchen bioinspirierte Strukturen in der Natur (z. B. Spinnenseide, Tentakel von Tintenfischen, Waben).





	- Inhaltsgestaltung: Die Lehrkräfte führen die Schüler anhand ausgewählter Texte, AR-Visualisierungen und Fallstudien aus der Praxis in die Kernkonzepte der MINT-Fächer ein, die mit Bio-Inspiration in Verbindung stehen. - Ermittlung des Bedarfs: Bewertung der Vorkenntnisse der Schüler in Naturwissenschaften und ihrer Vertrautheit mit AR-Tools, um eine Differenzierung zu ermöglichen.
Durchführung	- Immersive AR-Unterrichtseinheiten: Implementieren Sie Module, in denen die Schüler mit AR-Modellen bionischer Systeme (z. B. Gliedmaßen, Augen, Organe) interagieren. - STEM-Projekt-design: Die Schüler erstellen, testen und verfeinern ihre eigenen biomimetischen Prototypen (z. B. von Geckos inspirierte Haftsysteme oder Bildsensoren) unter Verwendung von AR-Umgebungen. - Formatives Feedback: Lehrer und Mitschüler geben Feedback durch Präsentationsbewertungen und Echtzeit-AR-Dateninteraktion.
Verbessern	AR-Integration: - Hochpräzise Simulationen: Die Schüler erkunden komplexe Biosysteme mithilfe detaillierter AR-Umgebungen (z. B. Sehbahnen, Soft-Robotik, selbstheilende Materialien). - AR-Annotation und -Manipulation: Überlagern Sie digitale Beschriftungen und ermöglichen Sie strukturelle Bearbeitungen in Echtzeit, um die Biofunktionalität zu verstehen. - Erweiterte Interaktion: Verwenden Sie gestenbasierte oder sprachaktivierte AR-Tools für eine intensivere Einbindung. Gamifizierte Inhalte: - Punkte und Abzeichen: Sammeln Sie Punkte, indem Sie biomechanische Rätsel lösen, biologische Analoga identifizieren oder AR-STEM-Herausforderungen meistern. - Level-Fortschritt: Durchlaufen Sie verschiedene Level von AR-Quests (z. B. vom Bau einfacher bionischer Teile bis zum Entwurf von Ganzkörpersystemen). - Team-Herausforderungen: Nehmen Sie an kollaborativen AR-Missionen teil, um reale Probleme der Biotechnik zu lösen. AR-basierte Bewertungen: - Interaktive Quizze: Erledigen Sie Aufgaben mit AR-Tools (z. B. biologische Funktionen in einem virtuellen Labor technischen Analoga zuordnen). - Leistungsaufgaben: Präsentieren Sie AR-gestützte Modelle von bionischen Systemen, die von Schülern entworfen wurden, und erklären Sie deren Funktion, den Entwurfsprozess und die biologische Inspiration. - Echtzeit-Feedback-Systeme: Verwenden Sie AR-Analysen und Dashboards, um den Lernfortschritt und das Engagement zu verfolgen.

Referenzen:

Abriata.L.A, 2018, Towards Commodity, Web-Based Augmented Reality Applications for Research and Education in Chemistry and Structural Biology, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.08332>

Alkhabra.Y.A, Ibrahim.U.M, Alkhabra.S.A, 2023, Augmented-Reality-Technologie zur Verbesserung der Lernleistung und des kritischen Denkens gemäß dem STEAM-Programm, <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01650-w>

Allin S, Eckel E, Markham H, Brewer BR. Aktuelle Trends in der Entwicklung und Bewertung von Assistenzrobotern für Manipulationsaufgaben. Phys Med Rehabil Clin N Am 2010;21: 59e77.





Anderson.f, Bischof.W, 2014, Augmented Reality verbessert das Training mit myoelektrischen Prothesen, <https://doi.org/10.1515/ijdh-2014-0327>

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 Der Nachweis der Van-der-Waals-Kraft durch die Haare an den Füßen von Geckos inspiriert die Entwicklung synthetischer Klebstoffe Proc. Natl Acad. Sci. USA 99 12252-6.

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

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. Educational Technology & Society, 17 (4), 133–149.

Bar-Cohen Y. und C. Breazeal (Hrsg.), „Biologically-Inspired Intelligent Robots“, SPIE Press, Band PM122, ISBN 0-8194-4872-9 (Mai 2003), S. 1-393.

Bar-Cohen Y 2005b Aktuelle und zukünftige Entwicklungen bei künstlichen Muskeln unter Verwendung elektroaktiver Polymere (EAP) Expert Rev. Med. Devices J. Future Drugs 2 731-40.

Bar-Cohen Y 2005 Biomimetik – Biologisch inspirierte Technologien (Boca Raton, FL: CRC Press) S. 1-552 Currey J.D. Materialwissenschaft – Hierarchien in biomineralen Strukturen. Science. 2005;309:253-254. doi: 10.1126/science.1113954. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

Bar-Cohen Y 2006 Biomimetik – Inspiration aus der Natur für menschliche Innovationen. Bioinspiration & Biomimetik. doi:10.1088/1748-3182/1/1/P01.

Bartlett P N und Gardner J W 1999 Elektronische Nasen: Prinzipien und Anwendungen (Oxford: Oxford University Press) S. 1-264.

Bialek W 1987 Physikalische Grenzen der Empfindung und Wahrnehmung Ann. Rev. Biophys. Biophys. Chem. 16 455-78.

Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented Reality im Klassenzimmer. Computer, 45, 56-63. <https://doi.org/10.1109/MC.2012.111>

Brandacher G, Ninkovic M, Piza-Katzer H, Gabl M, Hussl H, Rieger M, et al. Das Innsbrucker Handtransplantationsprogramm: Update 8 Jahre nach der ersten Transplantation. Transplant Proc 2009;41:491e4.

Carlson J, Ghaey S, Moran S, Tran C A und Kaplan D L 2005 Biologische Materialien in technischen Mechanismen Biomimetik – Biologisch inspirierte Technologien (Boca Raton, FL: CRC Press) Kapitel 14, S. 365-80.

Carleigh Samson, ITL-Programm, College of Engineering, University of Colorado Boulder 2015.

Craven M A und Gardner J W 1996 Elektronische Nasen – Entwicklung und Zukunftsaussichten Trends Anal. Chem. 15 486-93.

Denise W. Carlso, ITL-Programm, College of Engineering, University of Colorado Boulder 2015.





Dickinson T A, White J, Kauer J S und Walt D R 1998 Aktuelle Trends in der Technologie künstlicher Nasen Trends Biotechnol. 16 250-8.

Dünser.A, Walker.L, Horner.H, Bentall.D, 2012, Erstellung interaktiver Physik-Lehrbücher mit Augmented Reality.

Dzenis Y 2004 Spinnen von Endlosfasern für die Nanotechnologie Science 304 1917-9.

Elkhoury.K, Morsink.M, Sanchez-Gonzalez.L, Kahn.C, Tamayol.A, Arab-Tehrany.E.2021. Biofabrikation natürlicher Hydrogele für Anwendungen in der Herz-, Nerven- und Knochengewebezüchtung. Bioaktive Materialien. Band 6, Ausgabe 11.

Fombona-Pascual.A, Fombona.J, Vicente.R, 2022, Augmented Reality, eine Übersicht über eine Methode zur Darstellung und Manipulation von chemischen 3D-Strukturen, DOI: 10.1021/acs.jcim.1c01255

Gordon J E 1976 Die neue Wissenschaft der starken Materialien, oder warum Sie nicht durch den Boden fallen, 2. Auflage (London: Pelican-Penguin) S. 1-287.

George M. Whitesides. 2015. Bioinspiration: etwas für jeden. Interface Focus 5: 20150031.
<http://dx.doi.org/10.1098/rsfs.2015.0031>.

Hamley IW. 2013 Einführung in die weiche Materie: synthetische und biologische selbstorganisierende Materialien. Chichester, Großbritannien: John Wiley & Sons, Inc. Ikonografische Datenbank 1665, Warburg Institute Library, Großbritannien.

Jaehwan.K, Hyang-Ki.K, Seung-Bok.C .2002. Ein hybrider Inchworm-Linearmotor. Mechatronics. Band 12, Ausgabe 4. [https://doi.org/10.1016/S0957-4158\(01\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0957-4158(01)00016-2).

Jeronimidis G, Atkins A.G. Mechanik biologischer Materialien und Strukturen – Lehren aus der Natur für Ingenieure. J. Mech. Eng. Sci. 1995;209:221-235 [Google Scholar].

Jiatian Li, Sitong Li, Jiayi Huang, Abdul Qadeer Khan, Baigang An, Xiang Zhou, Zunfeng Liu, Meifang Zhu. 2021. Von Spinnenseide inspirierte Kunstfasern. Advanced Science.
<https://doi.org/10.1002/advs.202103965>

Jones JW, Gruber SA, Barker JH, Breidenbach WC. Erfolgreiche Handtransplantation. Ein Jahr Nachuntersuchung. Louisville Hand Transplant Team. N Engl J Med 2000;343:468e73.

Kemp, M. 2004 Strukturelle Intuitionen und metamorphes Denken in Kunst, Architektur und Wissenschaft. In Metamorph-9th Int. Architecture Exhibition Focus, S. 30-43. Fondazione La Biennale di Venezia.

Kwang Lee.E, Yoo.H und Hwan Lee.C.2020. Fortschrittliche Materialien und Montagestrategien für tragbare Biosensoren: Eine Übersicht. Biosensoren – Aktuelle und neuartige Strategien für die Biosensorik. DOI: 10.5772/intechopen.94451.

Lakes R. Materialien mit struktureller Hierarchie. Nature. 1993;361:511–515. doi: 10.1038/361511a0. [CrossRef] [Google Scholar] Lawrence Livermore National Laboratory 2010.





Maier.P, Klinker.G, 2013, Augmented Chemical Reactions: Ein Augmented-Reality-Tool zur Unterstützung des Chemieunterrichts, 978-1-4799-2741-8/13/\$31.00 IEEE

Mann S 1995 Biomimetische Materialchemie (New York: Wiley) S. 1-400.

Margreiter R, Brandacher G, Ninkovic M, Steurer W, Kreczy A, Schneeberger S. Eine beidseitige Handtransplantation kann sich lohnen! Transplantation 2002;74:85e90.

Nachtigall W. Springer; Berlin, Deutschland: 1998. Grundlagen und Beispiele der Bionik für Ingenieure und Wissenschaftler.

Nagle H T, Gutierrez-Osuna R und Schiffman S S 1998 Das Wie und Warum elektronischer Nasen IEEE Spectrum S. 22-38.

Nemat-Nasser S, Nemat-Nasser S, Plaisted T, Starr A und Vakil-Amirkhizi A 2005 Multifunktionale Materialien Biomimetik – Biologisch inspirierte Technologien (Boca Raton, FL: CRC Press) Kapitel 12, S. 309-40.

Regents der University of Colorado; Original © 2013 Polytechnic Institute der New York University. Panoptes und das bionische Auge © 2013.

Russell S J und Norvig P 2003 Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz (Harlow: Pearson Education) S. 1-1132.

Tirrell D.A. National Academy Press; Washington, DC: 1994. Hierarchische Strukturen in der Biologie als Leitfaden für neue Materialtechnologien.

Tran.R, Yang.J, Ameer.G.A, 2015, Citratbasierte Biomaterialien und ihre Anwendungen in der regenerativen Technik, doi: [10.1146/annurev-matsci-070214-020815](https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070214-020815)

Schmitt O H 1969 Einige interessante und nützliche biomimetische Transformationen Proc. 3. Int. Biophysik-Kongress (Boston, MA, 29. August bis 3. September) S. 297.

Szema R und Lee L P 2005 Biologisch inspirierte optische Systeme Biomimetik – Biologisch inspirierte Technologien (Boca Raton, FL: CRC Press) Kapitel 11, S. 291–308

Roshandel.H, Shammami.M, Lin.S, Wong.Y.P, Diaconescu.P.L, 2023, App-freie Methode zur Visualisierung von Polymeren in 3D und Augmented Reality, DOI: [10.1021/acs.jchemed.2c01131](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01131)

Trumpis.M, Polytechnisches Institut der NYU 2013

Venkatesen.M, Mohan.H, Ryan.J, Scürch.C.M, Nolan.G.P, Frakes.D.H, Coskun.A.F,2021, Virtuelle und Augmented Reality für biomedizinische Anwendungen, PMCID: PMC8324499 PMID: [34337564](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34337564/)

Vincent J F V 2001 Ideen aus der Natur stehlen Deployable Structures, hrsg. von S Pellegrino (Wien: Springer) Kapitel 3, S. 51-8.





Vlasov Y und Legin A 1998 Nicht-selektive chemische Sensoren in der analytischen Chemie: von der „elektronischen Nase“ zur „elektronischen Zunge“ J. Anal. Chem. 361 255-66.

Wasilewski.T, Kamysz.W, Gębicki.J.2020. Bioelektronische Zunge: aktueller Stand und Perspektiven. Biosensoren und Bioelektronik. Band 150 <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111923>

Wikimedia Commons 2009

Wu Y, Zhou D, Spinks G M, Innis P C, Megill W M und Wallace G G 2005 TITAN: eine auf leitfähigen Polymeren basierende mikrofluidische Pumpe Smart Mater. Struct. 14 1511-6.

Yee Ng.H, Alvin Lee.K, Kuo.C, Shen.Y.2018. Bioprinting künstlicher Blutgefäße. Int J Bioprint, 4(2): 140. <http://dx.doi.org/10.18063/IJB.v4i2.140>

Zahiri.B, Kumar Sow.P, Haow Kung.C, Mérida.W. 2017. Aktive Steuerung der Benetzbarkeit von superhydrophob bis superhydrophil durch elektrochemische Änderung des Oxidationszustands in einem Niederspannungsbereich. Advanced Materials Interfaces. <https://doi.org/10.1002/admi.201700121>

Zhang.Y, Feijoo-Garcia.M, Gu.Y, Poescu.V, Benes.B, J.Magana.A, 2024, Virtuelle und erweiterte Realität in der Wissenschafts-, Technologie-, Ingenieurs- und Mathematikausbildung (STEM): Eine Übersichtsarbeit, <https://doi.org/10.3390/info15090515>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Field_of_view.svgZ

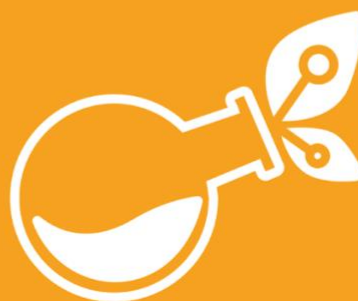
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Visualcortex.gif>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gabor-ocr.png>





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.