



Co-funded by
the European Union

Von der Natur inspirierte Gebäude: Wie Pflanzen und Tiere uns helfen, bessere Städte zu gestalten



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
· Die Natur als Vorbild für die Gestaltung der bebauten Umwelt.....	4
· Lösungen der Natur für menschliche Herausforderungen.....	5
· Effiziente Stadtplanung und Verkehrsfluss.....	6
· Bioinspirierte Ansätze.....	7
· Wie biologische Systeme nachhaltiges Design inspirieren.....	8
· Termitenhügel: Passive Wärmeregulierung und Belüftung.....	12
· Lotusblatt: Selbstreinigende Oberflächen.....	13
· Namib-Wüstenkäfer: Wassergewinnung aus der Luft.....	15
· Nutzung von Augmented Reality zur Erforschung naturinspirierten Designs in der MINT-Bildung.....	16
· Ressourcen.....	19





Allgemeines Thema des Lernpfads	Von der Natur inspirierte Gebäude: Wie Pflanzen und Tiere uns helfen, bessere Städte zu entwerfen
Spezifischer Name der Lerneinheit	Bio-Design in der städtischen Architektur
Zielgruppe	14–18 Jahre
Voraussetzungen für Lernende	Biologie, Physik und Umweltwissenschaften
Beschreibung der Lerneinheit	Diese Lerneinheit hilft Schülern und Lehrern dabei, zu erkunden, wie die natürlichen Strategien von Pflanzen und Tieren zu nachhaltigen Lösungen in der Architektur und Stadtplanung inspirieren können. Durch einen multidisziplinären Ansatz und den Einsatz von Augmented-Reality-Tools (AR) entdecken die Lernenden, wie biologische Systeme zu innovativen Gebäude- und Stadtentwürfen führen können, die auf Klima, Funktion und Wohlbefinden reagieren.
Beteiligte Fächer	Biologie, Physik, Umweltwissenschaften, Kunst/Design, Geografie, Mathematik
Stichworte	Biomimikry, von der Natur inspirierte Architektur, nachhaltige Städte, Biodesign, Stadtökologie, grüne Innovation, AR, interaktives Lernen
Erwerbbarer Schlüsselkompetenzen, Fähigkeiten und Kenntnisse	Verstehen, wie biologische Prinzipien auf architektonische und städtische Herausforderungen angewendet werden können Beispiele für bioinspirierte Gebäude und die natürlichen Organismen, die sie inspiriert haben, identifizieren Lernen, wie man klimaresistente Strukturen nach dem Vorbild der Natur entwirft Entwicklung von Kreativität und Problemlösungsfähigkeiten durch AR-basierte Designaktivitäten Erforschen Sie das Konzept regenerativer und nachhaltiger städtischer Umgebungen
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

Mit der zunehmenden Urbanisierung der Welt sind Städte zu einem zentralen Bestandteil des menschlichen Lebens und der menschlichen Entwicklung geworden. Angesichts des beschleunigten globalen Bevölkerungswachstums absorbieren städtische Gebiete den größten Teil dieses Anstiegs. Laut dem UN-Habitat-Bericht (Judith Oginga, 2022) werden bis 2050 schätzungsweise fast 70 % der Weltbevölkerung in Städten leben. Diese rasante städtische Expansion übt einen immensen Druck auf die natürlichen Systeme aus, da Städte zur Aufrechterhaltung ihres Betriebs und zur Versorgung ihrer Einwohner in hohem Maße von externen Ressourcen abhängig sind.

In der Vergangenheit wurden viele städtische Umgebungen ohne Rücksicht auf die umliegenden Ökosysteme gestaltet. Wie Othmani et al. (2022) feststellten, haben sich viele bebaute Umgebungen so entwickelt, als wären sie von der Natur getrennt, was zu Strukturen und Systemen geführt hat, die oft das ökologische Gleichgewicht stören. Diese Entkopplung hat zu fragilen städtischen Systemen geführt, die schlecht gerüstet sind, um auf den Klimawandel, den Verlust der biologischen Vielfalt und die Erschöpfung der Ressourcen zu reagieren. Um widerstandsfähigere Städte zu schaffen, muss die zukünftige Entwicklung mit ökologischen Prinzipien in Einklang stehen und das Wohlergehen der Menschen, die Nutzung regenerativer Ressourcen und die Integration in die natürliche Umwelt unterstützen.

Als Reaktion auf die durch die Urbanisierung verursachte Umweltzerstörung beginnen Städte weltweit, Lösungen umzusetzen, die ein besseres Gleichgewicht zwischen Gesellschaft und Natur anstreben. Ein neuer Ansatz ist der Einsatz naturbasierter Lösungen (Nature-based Solutions, NbS). Die Weltbank führte dieses Konzept erstmals 2008 ein, und es wurde 2015 von der Europäischen Kommission offiziell definiert (Sowińska-Świerkosz und García, 2022). Die Europäische Kommission beschreibt NbS als Maßnahmen, die von der Natur inspiriert, unterstützt oder direkt an ihr orientiert sind. In ähnlicher Weise definiert die Internationale Union für Naturschutz (IUCN) naturbasierte Lösungen als „Maßnahmen zum Schutz, zur nachhaltigen Bewirtschaftung und zur Wiederherstellung natürlicher oder veränderter Ökosysteme“ (Matthews et al., 2022).

Jüngste Studien zeigen, dass die Rolle von NbS in Städten über die ökologische Wiederherstellung hinausgeht. Diese Strategien sind zwar für die Verbesserung der biologischen Vielfalt von entscheidender Bedeutung, bieten aber auch weiterreichende Vorteile auf sozialer und wirtschaftlicher Ebene. So kann beispielsweise die Integration grüner Infrastruktur wie





Stadtwälder, Feuchtgebiete oder begrünte Dächer die öffentliche Gesundheit verbessern, die Klimaresilienz erhöhen, lokale Arbeitsplätze schaffen und zum sozialen Zusammenhalt beitragen. Daher werden naturbasierte Lösungen zunehmend als wesentliche Instrumente für den Aufbau nachhaltiger, inklusiver und resilienter städtischer Umgebungen anerkannt.

Angesichts der raschen Urbanisierung, der Umweltzerstörung und der eskalierenden Auswirkungen des Klimawandels ist es weltweit unerlässlich geworden, die Gestaltung unserer Städte zu überdenken. Herkömmliche Stadtentwicklungsmethoden basieren auf ressourcenintensiven Technologien, die zu Umweltverschmutzung, Energieverschwendung und Störungen des Ökosystems beitragen. Eine vielversprechende Alternative, die in der Architektur und Stadtplanung zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist das Konzept der Bio-Inspiration, auch bekannt als Biomimikry. Dieser Ansatz beinhaltet das Studium und die Nachahmung von Strategien aus der Natur, um Herausforderungen im Bereich des menschlichen Designs zu lösen. Im Laufe von 3,8 Milliarden Jahren Evolution hat die Natur hocheffiziente und widerstandsfähige Systeme entwickelt, die Leben erhalten, ohne Ressourcen zu erschöpfen. Wie Benyus (1997) treffend formulierte: „Das Leben schafft Bedingungen, die dem Leben förderlich sind“ – eine Philosophie, die den Kern des biomimetischen Denkens bildet.

Ein überzeugendes Beispiel für Bio-Inspiration in der Praxis ist das Eastgate Centre in Harare, Simbabwe. Dieses von dem Architekten Mick Pearce entworfene Gebäude orientiert sich direkt an der Struktur von Termitenhügeln, die durch passive Belüftungsmechanismen eine stabile Innentemperatur aufrechterhalten können. Wie Kennedy et al. (2015) beschrieben, nutzt das Eastgate Centre dieses Modell, um den Energieverbrauch im Vergleich zu traditionellen Gebäuden mit mechanischen Klimatisierungssystemen um bis zu 90 % zu senken. Dieser Fall veranschaulicht, wie das Verständnis biologischer Prinzipien zu transformativen Verbesserungen der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit führen kann.

Ein weiterer viel untersuchter Fall betrifft das Lotusblatt, dessen mikroskopische Oberflächenstruktur dazu führt, dass Wasser abperlt und das Blatt reinigt. Dies hat zur Entwicklung selbstreinigender Materialien inspiriert, die heute in der Architektur verwendet werden und den Wasserverbrauch und die Wartungskosten senken (Vincent et al., 2006). Ebenso haben die wärmereflektierenden und wasserspeichernden Eigenschaften der Kaktushaut das Gebäudedesign in trockenen Regionen beeinflusst, die innovative Lösungen für das Wärme- und Wassermanagement erfordern.

Über einzelne Bauelemente hinaus bietet die Biomimikry auch Erkenntnisse auf Systemebene. Die Verzweigungsmuster von Bäumen und Wurzelnetzen wurden zur Optimierung der Gestaltung städtischer Verkehrs- und Wassersysteme herangezogen, um effiziente Verteilungsnetze zu modellieren und den Energieverlust in einer Stadt zu minimieren (Vincent et al., 2006). Diese Beispiele zeigen, dass Bio-Inspiration ein kreativer, wissenschaftlicher und strategischer Prozess ist, der auf Beobachtung, Analyse und Systemdenken basiert.

Um diese Konzepte für Schüler der Oberstufe (im Alter von 14 bis 18 Jahren) zugänglich und interessant zu machen, nutzt diese Unterrichtseinheit Augmented Reality (AR) als zentrales





Werkzeug. AR ermöglicht es den Lernenden, natürliche Systeme in 3D zu erkunden, mit verborgenen biologischen Strukturen zu interagieren und diese direkt mit menschlichen Entwürfen zu vergleichen. Diese immersive Erfahrung unterstützt konzeptionelles Lernen und kreatives Erkunden und schlägt eine Brücke zwischen Biowissenschaften, Umweltbildung und digitaler Technologie. Durch die Gestaltung ihrer von der Natur inspirierten Gebäude in AR können die Schüler ohne materielle Einschränkungen mit Ideen experimentieren, was ihr Bewusstsein für Nachhaltigkeit und ihr innovatives Denken fördert.

Letztendlich zielt diese Einheit darauf ab, die nächste Generation von Architekten, Ingenieuren und Umweltbeauftragten zu inspirieren, indem sie ihnen zeigt, dass einige der innovativsten Lösungen für die Stadtgestaltung bereits von der Natur erfunden wurden. Durch praktische Interaktion und wissenschaftliche Reflexion werden die Schüler die gebaute Umwelt nicht als etwas von der Natur Getrenntes betrachten, sondern als etwas, von dem sie lernen und mit dem sie koexistieren können.

Die Natur als Vorbild für die Gestaltung der bebauten Umwelt

Die Natur dient seit langem als Inspiration für die Architektur und hat im Laufe der Geschichte verschiedene Designbewegungen beeinflusst. Von Gaudís biomorphen Formen bis hin zur strukturellen Eleganz der zeitgenössischen Werke von Santiago Calatrava – beide lassen sich stark von Mustern und Geometrien aus der Natur inspirieren. Während sich die frühere, von der Natur inspirierte Architektur oft auf die Ästhetik konzentrierte, gibt es heute einen wachsenden Trend zu interdisziplinärem Design, das mehr als nur visuelle Inspiration sucht. Dieser neue Ansatz beinhaltet biologische Strategien, die dazu beitragen, den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu reduzieren und die CO₂-Emissionen zu senken, wodurch die Architektur an den Übergang von einer industriellen zu einer ökologischen Ära angepasst wird (Dixit und Stefańska, 2023).

Die Fähigkeit der Natur, sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen, ist in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen gut dokumentiert (Jamei und Vrcelj, 2021). Wie Wu et al. (2020) feststellten, besteht ein wichtiges Ziel des bioinspirierten Designs darin, Umweltfunktionen und Landschaftsmuster wiederherzustellen und die bebaute Umwelt in ein effizienteres, kohlenstoffarmes und widerstandsfähiges System zu verwandeln. Ein bemerkenswertes Beispiel dafür ist China, wo die Umsetzung nachhaltiger ökologischer Prinzipien in den letzten 50 Jahren zur Entwicklung von Städten geführt hat, die auf die Regeneration natürlicher Ökosysteme ausgelegt sind. Diese „Ökostädte“ legen den Schwerpunkt auf integrierte Lösungen für fünf grundlegende Systeme: Energie, Ernährung, Verkehr, Abfall und Wasser.

In der bebauten Umwelt hat sich bioinspiriertes Design auf verschiedene Weise manifestiert, insbesondere durch die zunehmende Anwendung von Biomimikry. In den letzten zehn Jahren ist Biomimikry zu einem prägenden Aspekt vieler moderner Architekturprojekte geworden. Laut Ferwati et al. (2019) haben sich neun Schlüsselmerkmale in der biomimetischen Designpraxis herauskristallisiert: Form und Funktion, Geometrie, Metapher, Material, Bewegung, Muster,





Proportion, Nachhaltigkeit und Technologie. Diese Merkmale spiegeln die vielfältigen Möglichkeiten wider, wie natürliche Prinzipien in die Sprache der Architektur übersetzt werden können.

Aktuelle wissenschaftliche Arbeiten betonen auch die konzeptionelle Einordnung der Natur als Leitfaden im Designprozess. Oguntona und Aigbavboa (2023b) argumentieren, dass die Betrachtung der Natur als Mentor das natürliche Ökosystem zu einem wertvollen Bezugspunkt für kontinuierliches Lernen und kreative Innovation macht. Sie identifizieren drei Kerndimensionen im bioinspirierten Design: Imitation, Emulation und Inspiration. Diese Dimensionen ermöglichen es Designern, die Natur nach strukturellen Modellen und prozessgesteuerten und systembasierten Strategien zu erforschen. Wie Oguntona und Aigbavboa (2023a) weiter anmerken, birgt die Integration dieser Ansätze in die Gestaltung der gebauten Umwelt ein hervorragendes Potenzial zur Verringerung der Umweltzerstörung und zur Minimierung der Ressourcenausbeutung.

Lösungen der Natur für menschliche Herausforderungen

Angesichts eskalierender ökologischer und sozialer Herausforderungen stehen Städte weltweit unter zunehmendem Druck, nachhaltiger, widerstandsfähiger und anpassungsfähiger zu werden. Traditionelle Ansätze der Stadtplanung werden diesen komplexen Anforderungen oft nicht gerecht, was viele Architekten, Ingenieure und Designer dazu veranlasst, sich an der Natur zu orientieren. Dieser Ansatz, bekannt als Bio-Inspiration oder Biomimikry, beinhaltet die Untersuchung der Formen, Prozesse und Systeme, die von der Natur über Milliarden von Jahren entwickelt wurden, und die Übertragung ihrer zugrunde liegenden Prinzipien auf menschenzentrierte Designlösungen. Im Gegensatz zur einfachen Nachahmung konzentriert sich die Biomimetik, wie sie von Vincent et al. (2006) definiert wird, darauf, funktionale Strategien aus biologischen Systemen zu extrahieren, um menschliche Probleme auf innovative und nachhaltige Weise zu lösen. Die Natur bietet eine riesige Fundgrube an bewährten Lösungen, die jeweils durch evolutionäre Versuche und Irrtümer verfeinert wurden, um maximale Effizienz bei minimalem Aufwand zu erreichen. In diesem Abschnitt untersuchen wir, wie bioinspiriertes Denken auf fünf kritische städtische Herausforderungen angewendet werden kann, und zeigen, wie Organismen und Ökosysteme uns helfen können, die Zukunft unserer Städte neu zu gestalten.

- Passive Temperaturregulierung

Die Regulierung der Innentemperatur ohne starken Einsatz energieintensiver Systeme ist eine der größten Herausforderungen in der städtischen Architektur. Beispielsweise halten Termitenhügel in Subsahara-Afrika trotz äußerer Schwankungen eine stabile Innentemperatur aufrecht, indem sie komplexe Tunnelsysteme nutzen, die einen passiven Luftstrom ermöglichen. Dieser natürliche Mechanismus inspirierte den Entwurf des Eastgate Centre in Harare, Simbabwe, einem Geschäftsgebäude, das ähnliche passive Belüftungstechniken nutzt, um den Energieverbrauch im Vergleich zu traditionellen Gebäuden um bis zu 90 % zu senken (Turner & Soar, 2008).





- **Wassersammlung und -einsparung**

Pflanzen und Tiere haben hochspezialisierte Methoden entwickelt, um in trockenen Umgebungen Wasser zu sammeln und zu speichern. Der Kaktus nutzt seine gerippte Oberfläche, um Tau effizient zu seinen Wurzeln zu leiten. Gleichzeitig nutzt der Namib-Wüstenkäfer abwechselnd hydrophobe und hydrophile Muster auf seinem Panzer, um Wasser aus der Luft zu kondensieren und zu sammeln. Inspiriert von diesen Organismen haben Ingenieure nebelgewinnende Gebäude und Dachsysteme entwickelt, die Wasser aus der Atmosphäre gewinnen können, ohne auf Pumpen oder Chemikalien angewiesen zu sein (Nørgaard et al., 2012).

- **Selbstreinigende und wartungsarme Oberflächen**

Die Instandhaltung von Gebäuden erfordert oft einen erheblichen Einsatz von Wasser und Chemikalien. In der Natur hat jedoch das Lotusblatt eine nanostrukturierte Oberfläche entwickelt, die Wasser abweist und Schmutzpartikel beim Trocknen abtransportiert. Dieses als Lotuseffekt bekannte Phänomen hat zur Entwicklung von selbstreinigendem Glas, Sonnenkollektoren und Fassadenbeschichtungen geführt, die den Wartungsaufwand reduzieren und gleichzeitig die Haltbarkeit und Sauberkeit erhöhen (Barthlott & Neinhuis, 1997; Koch et al., 2009).

- **Leichte, aber widerstandsfähige Strukturen**

Die Natur erreicht oft mit minimalem Materialeinsatz eine bemerkenswerte Festigkeit. Spinnenseide ist ein herausragendes Beispiel dafür, da sie im Verhältnis zu ihrem Gewicht eine höhere Zugfestigkeit als Stahl aufweist. Wabenstrukturen in Bienenstöcken und anderen Organismen verteilen die Belastung effizient und sparen gleichzeitig Material. Diese Modelle werden häufig im modularen Bauwesen, in der Luft- und Raumfahrt und im architektonischen Paneeldesign eingesetzt, um die Belastung und den Ressourcenverbrauch zu reduzieren und gleichzeitig die strukturelle Integrität zu erhalten (Fratzl & Barth, 2009; Vincent et al., 2006).

Effiziente Stadtplanung und Strömung

In natürlichen Systemen sind die verzweigten Strukturen von Bäumen, Wurzelnetzen und Gefäßsystemen so optimiert, dass Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe und Energie mit minimalem Widerstand verteilt werden. Stadtplaner und Infrastrukturdieser greifen zunehmend auf diese natürlichen Muster zurück, um die Gestaltung von Verkehrsnetzen, Fußgängerwegen und Versorgungssystemen zu beeinflussen. Diese biomimetischen Designs verbessern die Konnektivität, reduzieren Staus und ermöglichen eine dezentrale Energie- und Wasserverteilung, wodurch die Widerstandsfähigkeit und Effizienz verbessert werden. Wie Badarnah (2017) betont, bieten biomimetische Prinzipien, die aus ökologischen Verzweigungssystemen abgeleitet sind, praktische Strategien für die Anpassung von Städten an komplexe ökologische und soziale Anforderungen unter Wahrung der Harmonie mit der natürlichen Landschaft.

Biomimikry kann auf drei Ebenen angewendet werden: auf der Form-, Prozess- und Systemebene. Auf der Formebene wird die Funktion nachgeahmt, die sich aus der spezifischen Form eines Organismus, eines Teils davon oder seiner Produktion ableitet. Diese Ebene konzentriert sich auf die in der Natur vorkommende Morphologie. Die Prozessebene der



Biomimikry ahmt das Verhalten oder die Produktionsprozesse von Organismen oder Gruppen von Organismen nach. Auf der Systemebene schließlich ahmt die Biomimikry die Funktionsweise, Prinzipien und Strategien von Ökosystemen nach (Jain et al., 2023). Im Kontext von Städten sind komplexe Systeme, die Menschen, Infrastrukturen, Umweltkontexte und Beziehungen, dienen als relevanteste und passendste Inspirationsquelle. Ökosysteme bestehen aus biotischen Elementen, die mit den baulichen Komponenten einer menschlichen Stadt vergleichbar sind, und abiotischen Elementen, die mit der städtischen Umgebung und dem städtischen Kontext verglichen werden können. Darüber hinaus umfassen Ökosysteme auch die Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen.

Madmar et al. (2023) schlugen in Abbildung 1 eine Parallele zwischen der Zusammensetzung eines Ökosystems und der Zusammensetzung und Funktionsweise eines städtischen Systems vor. Während Biomimikry auf Ökosystemebene Form- und Prozess-Biomimikry einbeziehen kann, berücksichtigt sie systematisch die Vorteile in größerem Maßstab. Dieser Ansatz bietet umfassendere und besser abgestimmte Lösungen für die systematischen Herausforderungen von Städten. Bisherige Analogien zwischen dem menschlichen Organismus und aktuellen Arbeiten zum städtischen Metabolismus sind begrenzt und befassen sich in erster Linie mit dem Thema des städtischen Flusses (Dicks et al., 2021).

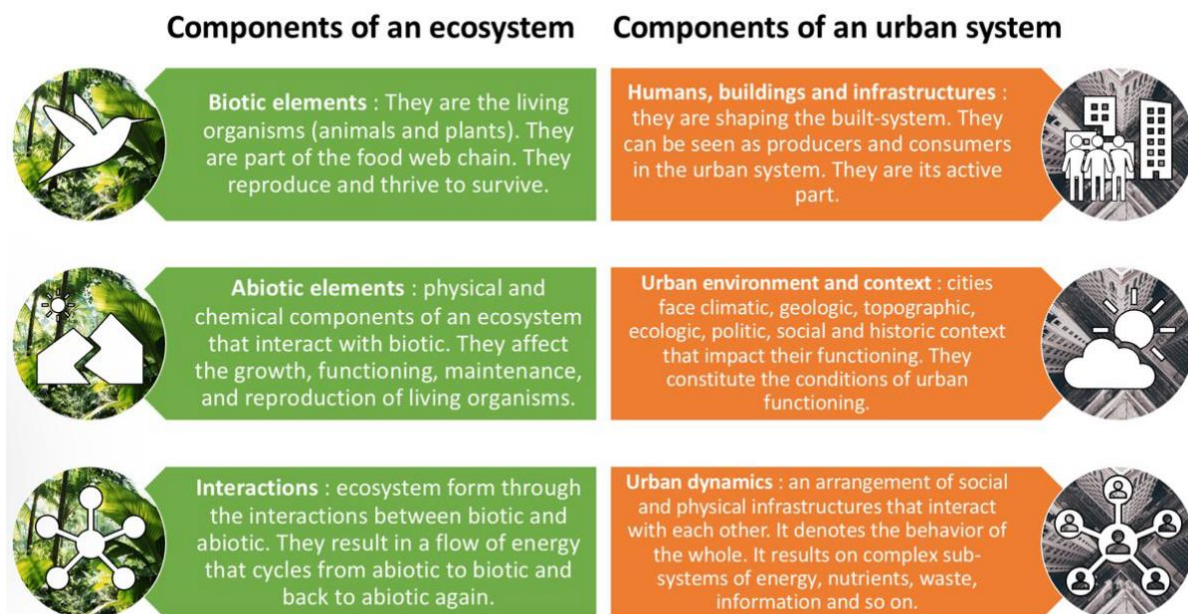


Abb. 1: Parallelen zwischen der Zusammensetzung und Funktionsweise von Ökosystemen und städtischen Systemen, Quelle: Dicks et al., 2021

Bioinspirierte Ansätze:

Von der Natur inspirierte Ansätze sind in vielen Bereichen zu finden, darunter Architektur und Stadtplanung, wobei Bionik, Biomimetik und Biomimikry die drei häufig genannten bioinspirierten Designansätze sind. Als allgemeiner Begriff wurde Bionik 1958 von Jack Steel als Kombination aus Biologie und Technik eingeführt. Sie konzentriert sich auf die mechanischen Fähigkeiten der Natur und nutzt deren physikalische Prinzipien als Inspiration für die Entwicklung technischer





Designs. Ihre Anwendung kann jedoch zu nicht nachhaltigen Lösungen führen, da sie die Wechselwirkung dieser Lösungen mit der Nachhaltigkeit nicht berücksichtigt (Landrum und Mead, 2022). Durch Verständnis und Analyse überträgt die Biomimetik hingegen Eigenschaften, Qualitäten und Systeme aus der Natur in die künstliche Umgebung (Urdinola-Serna und diseño, 2018). Der Begriff Biomimetik, der sich aus den Wurzeln bios (Leben) und mimesis (imitieren) zusammensetzt, geht auf das Jahr 1969 zurück und wurde vom Biophysiker und Ingenieur Otto Schmitt geprägt. Er konzentriert sich hauptsächlich auf die Nachahmung der Natur, sowohl in der Anwendung als auch in der Form. Schließlich wurde Biomimikry 1997 von Benyus als die Wissenschaft definiert, die die Modelle der Natur imitiert. Diese wiederum verwendet einen ökologischen Standard, der ihre Interaktion mit der Umwelt misst, was einen Schritt über Bionik und Biomimetik hinausgeht und sich um Nachhaltigkeit in ihrer Anwendung kümmert (Landrum und Mead, 2022).

Der Designprozess der Biomimikry folgt in der Regel einer bidirektionalen Methodik, die zwei sich ergänzende Ansätze umfasst, wie von Bader et al. (2021), Chayaamor-Heil (2023) und Urdinola-Serna und Diseño (2018) beschrieben. Der erste ist der problemorientierte Ansatz, bei dem Designer zunächst eine bestimmte Designherausforderung oder ein bestimmtes Designziel identifizieren. Sobald die Parameter des Problems klar definiert sind, suchen sie in der Natur nach Strategien, die von Pflanzen, Tieren oder Ökosystemen verwendet werden und praktikable Lösungen bieten könnten.

Der zweite Ansatz ist der lösungsorientierte Ansatz, der häufig aus den Biowissenschaften stammt. Bei dieser Methode untersuchen Forscher oder wissenschaftlich versierte Designer zunächst biologische Systeme oder Verhaltensweisen, die interessante oder effektive Funktionen aufweisen. Diese natürlichen Strategien werden dann auf ihre potenzielle Relevanz für menschliche Designprobleme hin analysiert, sodass biologische Erkenntnisse die Entwicklung innovativer architektonischer oder technischer Lösungen leiten können.

Zusammen spiegeln diese beiden Ansätze den interdisziplinären Charakter der Biomimetik wider, indem sie es ermöglichen, dass sich Designprobleme und biologisches Wissen in einem kontinuierlichen, iterativen Prozess gegenseitig beeinflussen.

Wie biologische Systeme nachhaltiges Design inspirieren

Bioinspiriertes Design oder Biomimikry wird zunehmend als kreativer Ansatz und strenge wissenschaftliche Methodik zur Bewältigung von Nachhaltigkeitsherausforderungen in der gebauten Umwelt anerkannt. Laut Amer et al. (2020) ermöglicht die Biomimikry Designern, über die oberflächliche Nachahmung der Natur hinauszugehen und biologische Prinzipien tiefer in die Gebäudeleistung zu integrieren. Dazu gehört die Analyse, wie sich Organismen an ihre Umgebung anpassen, wie sie Energie-, Wasser- und Materialflüsse verwalten und wie ihr internes Verhalten zu systemischen architektonischen Lösungen inspirieren kann.

Ein Schlüsselkonzept ist der in Ökosystemen beobachtete geschlossene Material- und Energiefluss. In einem Wald werden die Abfälle eines Organismus zur Nahrung für einen anderen; nichts wird weggeworfen. Stadtplaner beginnen, dieses Modell durch zirkuläre städtische Systeme zu übernehmen, in denen Abfall, Wasser und Energie recycelt werden.





Dieses Denken auf Systemebene spiegelt die Logik von Ökosystemen wider und unterstützt eine widerstandsfähigere städtische Infrastruktur (Kennedy et al., 2015). Sogar die Struktur von Organismen beeinflusst das Design. So hat beispielsweise die Form des Kofferrfisches aufgrund ihrer optimierten Struktur zur Verringerung des Luftwiderstands aerodynamische Autos und Gebäudefassaden inspiriert (Bar-Cohen, 2012). Diese Beispiele veranschaulichen, dass die Natur sowohl funktionale Modelle als auch Designprinzipien liefert, die direkt Einfluss darauf haben können, wie wir die Städte der Zukunft gestalten.

Eine der wichtigsten Veränderungen, für die sich die aktuelle Forschung einsetzt, ist der Übergang vom Nachahmen der Form der Natur zum Verstehen und Nachbilden ihrer Funktion und ihres Verhaltens. Aamer et al. (2020) betonen die Bedeutung dieses Wandels, indem sie auf die Lücke in der bisherigen Architekturpraxis hinweisen, die oft natürliche Ästhetik nutzte, ohne funktionale Nachhaltigkeit zu erreichen. Durch einen problemorientierten biomimetischen Ansatz schlagen sie eine Methodik vor, die sich auf das Verhalten von Gebäuden konzentriert, einschließlich Energieeffizienz, thermischem Komfort, Materialleistung und Umweltverträglichkeit. Dieser Prozess beginnt mit der Identifizierung architektonischer Herausforderungen und der Suche nach Lösungen aus biologischen Vorbildern, die sich entwickelt haben, um ähnliche Bedingungen zu überwinden.

Die in ihrer Studie beschriebene Methodik umfasst die Simulation biologischer Systeme durch experimentelle Abstraktion und deren Umsetzung in architektonische Prototypen. Sie umfasst drei Ebenen der Biomimikry: die Organismusebene (spezifische Form oder Funktion), die Verhaltensebene (Interaktion mit der Umwelt) und die Ökosystemebene (systemische Strömungen und Beziehungen). Die Verhaltensebene wird besonders hervorgehoben, da sie es Gebäuden ermöglicht, adaptiv zu reagieren, ähnlich wie lebende Organismen Wärme, Feuchtigkeit oder Licht regulieren.

- Ebenen im biomimetischen Design

Biomimetisches Design kann auf verschiedenen Ebenen angewendet werden, je nachdem, wie Designer natürliche Ideen interpretieren und extrahieren. Laut Bader et al. (2021) und Chayaamor-Heil (2023) funktioniert Biomimikry auf drei Hauptebenen: Organismus, Verhalten und Ökosystem.

Die Organismusebene beinhaltet die direkte Inspiration durch eine bestimmte Pflanze oder ein bestimmtes Tier. Dies kann die Nachbildung des gesamten Organismus oder die Konzentration auf eine bestimmte strukturelle oder funktionelle Eigenschaft umfassen, die auf eine Designherausforderung angewendet werden kann. Die Verhaltensebene konzentriert sich darauf, wie ein lebender Organismus mit seiner Umgebung interagiert. Dazu gehört die Untersuchung von Anpassungsmaßnahmen, beispielsweise wie bestimmte Arten Temperatur, Feuchtigkeit oder Bewegung in ihrer Umgebung regulieren. Die Ökosystemebene verfolgt einen breiteren Ansatz und stützt sich auf die Prinzipien, die ein effizientes und nachhaltiges Funktionieren von Ökosystemen ermöglichen. Dazu gehören Energiekreisläufe, Biodiversität, symbiotische Beziehungen und Resilienz.



Eine weitere Verfeinerung der biomimetischen Interpretation findet sich in der Arbeit von Mirniazmandan und Rahimianzarif (2017), die fünf Unterebenen der Nachahmung vorschlagen: Form, Material, Konstruktion, Prozess und Funktion. Diese ermöglichen es Designern, bestimmte Aspekte biologischer Systeme zu isolieren, die für die gebaute Umwelt relevant sein können. Darüber hinaus beschreiben Oguntona und Aigbavboa (2023a) drei konzeptionelle Ansätze für die Arbeit mit Bio-Inspiration: Nachahmung, Emulation und Inspiration. Diese Dimensionen reichen vom direkten Kopieren natürlicher Formen bis hin zum Entwerfen abstrakter Ideen und deren kreativer Anwendung zur Lösung von Designproblemen.

Ein verwandtes Konzept, das den Wandel hin zu naturintegriertem Design unterstützt, ist die Biophilie. Obwohl es technisch gesehen nicht unter bioinspiriertes Design fällt, fördert biophiles Design die Verbindung zwischen Mensch und Natur. Nach der Definition von Edward O. Wilson und Stephen Kellert bezieht sich Biophilie auf die angeborene Neigung des Menschen, Kontakt zur Natur zu suchen. Dieses Konzept ist in unserer Evolutionsgeschichte und biologischen Entwicklung verwurzelt. Laut Calabrese (2015) zielt biophiles Design darauf ab, diese verlorene Verbindung in modernen Umgebungen wiederherzustellen, indem es Umweltmerkmale, natürliche Formen, Tageslicht, räumliche Vielfalt und lokale Identität einbezieht. Diese Strategien tragen zu Räumen bei, die das menschliche Wohlbefinden in kognitiver, emotionaler und physischer Hinsicht fördern.

Neben Biomimikry und Biophilie wächst das Interesse an der Unterscheidung zwischen naturbasierten Lösungen (NbS) und naturinspirierten Lösungen (NiS). Naturbasierte Lösungen sind in der Regel mit lebenden Ökosystemen verbunden und beruhen auf deren fortbestehenden ökologischen Funktionen, um Vorteile wie Wasserreinigung, Kohlenstoffspeicherung oder Klimaregulierung zu erzielen. Im Gegensatz dazu leiten sich naturinspirierte Lösungen, einschließlich Biomimikry, aus Prinzipien und Strategien ab, die in der Natur beobachtet werden, erfordern jedoch keine funktionierenden Ökosysteme, um zu funktionieren. Wie die IUCN (2020b) dargelegt hat, bezieht sich NiS auf innovative Systeme, Materialien oder Prozesse, die unter Verwendung von Erkenntnissen aus der Biologie entwickelt wurden und skalierbare Anwendungen in Architektur und Ingenieurwesen ermöglichen.

Die Anwendung biomimetischen Designs ermöglicht es uns, die Natur nicht nur als Quelle der Schönheit oder Inspiration zu betrachten, sondern auch als Quelle des Wissens und der Innovation. Durch die Übertragung natürlicher Strategien auf architektonische Systeme können Designer Gebäude und Infrastrukturen schaffen, die regenerativ, anpassungsfähig und widerstandsfähig sind. Die folgende Tabelle enthält ausgewählte Beispiele für biologische Systeme und ihre entsprechenden architektonischen Anwendungen und zeigt, wie Biomimikry die zukunftsweisende Entwicklung nachhaltigen Designs weiterhin prägt.

Tabelle 1 – Biologische Systeme und ihre

Biologisches Modell	Natürliche Strategie	Architektonische/städtische Anwendung	Herausforderung	Quelle
Termitenhügel	Passiver Luftstrom reguliert die	Eastgate Centre (Simbabwe)	Energieeffiziente Klimatisierung	Turner & Soar, 2008





	Innentemperatur			
Lotusblatt	Mikro-/Nanostruktur lässt Wasser und Schmutz abperlen	Selbstreinigende Fenster, Fassaden und Sonnenkollektoren	Geringerer Wartungsaufwand, Wassereinsparungen	Barthlott & Neinhuis, 1997; Koch et al., 2009
Kaktushaut	Die gerippte und wachsartige Oberfläche leitet Tau ab und begrenzt die Verdunstung	Wassersammelnde Mauern und Wüstenarchitektur	Wassergewinnung und -speicherung	Ju et al., 2012
Namib-Wüstenkäfer	Hydrophile und hydrophobe Muster fangen Feuchtigkeit ein	Nebel auffangende Oberflächen und Dächer	Zugang zu atmosphärischem Wasser	Nørgaard et al., 2012
Spinnenseide	Hohe Zugfestigkeit und Flexibilität	Leichte Spannkonstruktionen, Verbundwerkstoffe	Materialeffizienz und Widerstandsfähigkeit	Fratzl & Barth, 2009
Wabenstruktur	Geometrische Effizienz bei minimalem Materialaufwand	Leichte Platten, modulare Konstruktion	Festigkeit bei geringerem Materialverbrauch	Vincent et al., 2006

Um das Potenzial der Bio-Inspiration in der nachhaltigen Architektur vollständig zu verstehen, ist es unerlässlich, von theoretischen Prinzipien zu realen Anwendungen überzugehen. Biologische Organismen bieten vielfältige Strategien, die sich über Millionen von Jahren der Anpassung entwickelt haben – Methoden, die direkt Einfluss darauf nehmen können, wie wir städtische Umgebungen gestalten, bauen und betreiben. Im Kontext der Biomimikry liegt der Erfolg nicht darin, das Aussehen der Natur zu kopieren, sondern ihre Funktionen, Verhaltensweisen und Systeme auf sinnvolle und messbare Weise in menschliche Designs zu übertragen.

In den folgenden Abschnitten werden drei gut erforschte biologische Modelle vorgestellt, die Termitenhügel, Lotusblätter und Baum-/Wurzelverzweigungssysteme, die zu innovativen architektonischen und städtebaulichen Lösungen inspiriert haben. Diese Beispiele veranschaulichen, wie biologische Strategien in Gebäudesysteme übernommen wurden, um Herausforderungen wie Klimakontrolle, Wassereinsparung, Selbstwartung und Ressourcenverteilung zu lösen. Jeder Fall steht in direktem Zusammenhang mit einer praktischen Anwendung und wird durch wissenschaftliche Forschung gestützt.

Zusammen mit der folgenden Tabelle bilden diese Fallstudien eine Grundlage für das Verständnis der Tiefe und Vielseitigkeit bioinspirierten Designs. Sie zeigen, wie das Lernen aus dem „Design-



Lehrbuch" der Natur zu innovativeren, widerstandsfähigeren und nachhaltigeren menschlichen Lebensräumen führen kann.

Termitenhügel: Passive Wärmeregulierung und Belüftung

Termitenhügel, insbesondere diejenigen, die von *Macrotermes*-Arten in Subsahara-Afrika gebaut werden, sind ausgeklügelte natürliche Strukturen, die trotz extremer äußerer Klimabedingungen eine bemerkenswert stabile Innentemperatur und Luftfeuchtigkeit aufrechterhalten. Dies wird durch ein komplexes Netzwerk von Luftschächten und Tunneln erreicht, die eine passive Belüftung fördern. Die Termiten nutzen ein System aus kontrollierten Öffnungen und Kammern, um konvektive Luftströme zu erzeugen und das Mikroklima im Inneren des Hügels zu regulieren, um ihre symbiotische Pilzzucht zu unterstützen.

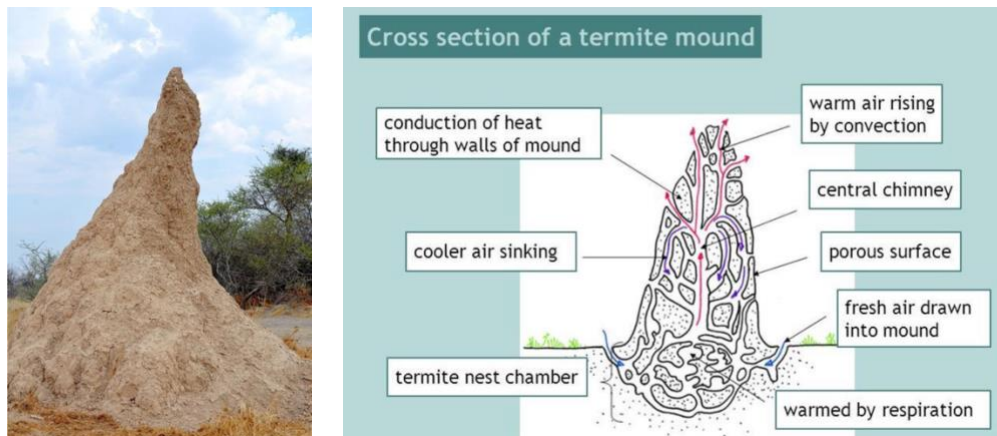


Abb. 2: Termitenhügel und ihre Fähigkeiten, Quelle:

<https://www.mickpearce.com/assets/images/biomimicry-architecture-09-1400x2133-77.jpg>

Dieses natürliche Modell hat Architekten und Ingenieure dazu inspiriert, energieeffiziente Gebäude zu entwickeln, die die Innentemperatur regulieren, ohne stark auf mechanische Systeme angewiesen zu sein. Die bekannteste Anwendung ist das Eastgate Centre in Harare, Simbabwe, das vom Architekten Mick Pearce in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Arup Associates entworfen wurde. Das Gebäude ahmt die Prinzipien eines Termitenhügels nach, um den Luftstrom und die Temperatur passiv zu regulieren, wodurch der Energieverbrauch für Belüftung und Kühlung im Vergleich zu herkömmlichen Gebäuden ähnlicher Größe um über 90 % reduziert wird (Turner & Soar, 2008).



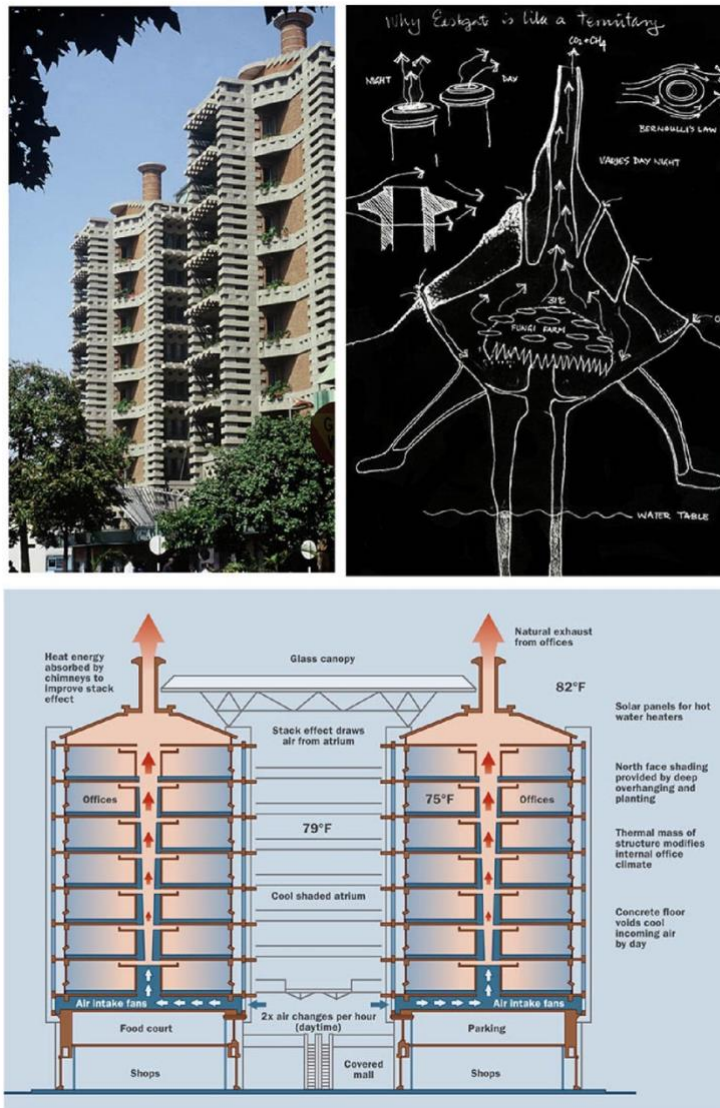


Abb. 3: Eastgate Centre in Harare, Simbabwe, Quelle:

<https://www.mickpearce.com/assets/images/biomimicry-architecture-09-1400x2133-77.jpg>

Lotusblatt: Selbstreinigende Oberflächen

Die Lotuspflanze (*Nelumbo nucifera*) gedeiht in schlammigen Gewässern, doch ihre Blätter bleiben makellos sauber. Dies ist auf die Mikro- und Nanostrukturen auf der Blattoberfläche zurückzuführen, die einen superhydrophoben Effekt erzeugen, sodass Wassertropfen abperlen und von der Oberfläche abrollen, wobei sie Schmutzpartikel sammeln und mit sich forttragen. Dieses Phänomen ist allgemein als „Lotuseffekt“ bekannt.





Abb. 4: Lotusblatteffekt, Quelle: [https://www.properla.co.uk/lotus-](https://www.properla.co.uk/lotus-...)

Inspiziert von diesem Selbstreinigungsmechanismus haben Materialwissenschaftler und Architekten hydrophobe Beschichtungen für Fenster, Sonnenkollektoren, Gebäudefassaden und Fliesen entwickelt, die Wasser abweisen und so die Wartungskosten senken. Diese Materialien reduzieren den Wasserverbrauch für die Reinigung und verlängern die Lebensdauer von Oberflächen, die den Elementen ausgesetzt sind. Die Innovation unterstützt eine nachhaltige Architektur, indem sie den Ressourcenverbrauch und den Arbeitsaufwand minimiert und gleichzeitig die visuelle und funktionale Integrität bewahrt.

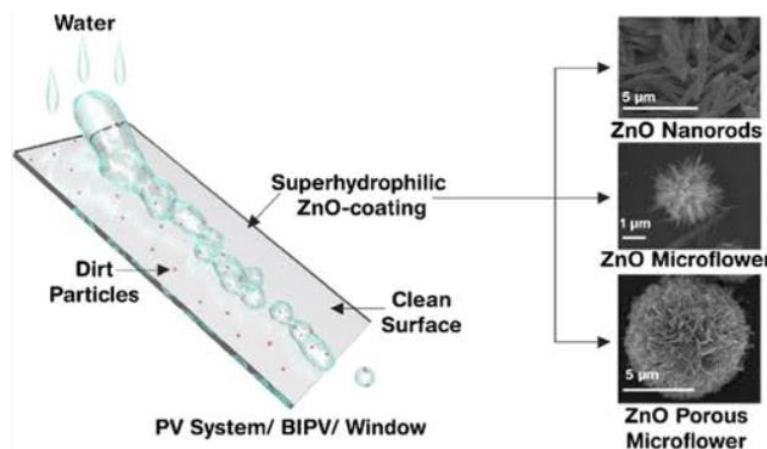


Abb. 5: Hydrophile und superhydrophile selbstreinigende Beschichtungen durch morphologisch variierende ZnO-Mikrostrukturen, Quelle: [https://shop.nanografi.com/blog/following-the-natures-](https://shop.nanografi.com/blog/following-the-natures-...)



Namib-Wüstenkäfer: Wassergewinnung aus der Luft

Der Namib-Wüstenkäfer (*Stenocara gracilipes*) lebt an einem der trockensten Orte der Erde und gewinnt Wasser aus Nebel. Seine Flügeldecken (Elytra) sind mit hydrophilen Erhebungen versehen, die von hydrophoben Vertiefungen umgeben sind, sodass er Luftfeuchtigkeit auffangen und zu seinem Mund leiten kann. Wie Nørgaard et al. (2012) erklären, nutzt der Käfer ein ausgeprägtes Verhalten, bei dem er sich in den frühen Morgenstunden in den Nebel stellt, um die Wasseraufnahme zu maximieren. Dieses passive System ermöglicht es dem Käfer, ohne aktiven Energieaufwand zu überleben, was ihn zu einem idealen Modell für nachhaltige Wassertechnologien macht.

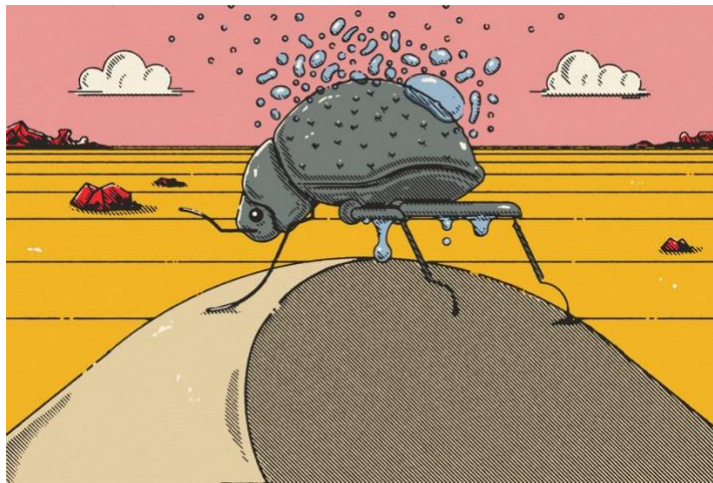


Abb. 6: Namib-Wüstenkäfer und Wassergewinnung, Quelle:
<https://www.atlasobscura.com/articles/fogstand-beetles-namib->

Die mikrostrukturelle Oberfläche und die Verhaltensstrategie des Käfers haben zur Entwicklung biomimetischer Materialien und Oberflächen inspiriert, die seine Methode der Wassersammlung nachahmen. Ingenieure haben synthetische Oberflächen mit strukturierter Benetzbarkeit entwickelt, um Wasser aus Nebel, Tau oder feuchter Luft zu kondensieren und zu sammeln. Diese werden in Nebelnetzen, Fassadenplatten und Dachsystemen eingesetzt, insbesondere in wasserarmen Regionen wie Chile, Äthiopien und den Vereinigten Arabischen Emiraten. Diese Systeme bieten eine passive und nachhaltige Lösung für die Süßwasserknappheit in abgelegenen oder dürrgefährdeten Gebieten, indem sie die Effizienz des Käfers nachahmen.

Die architektonischen Anwendungen entwickeln sich weiter und integrieren diese Materialien in Gebäudehüllen, die Schutz bieten und als Wassergewinnungsinstrumente fungieren, wodurch die Abhängigkeit von zentralisierten Infrastrukturen verringert und die Umweltbelastbarkeit gefördert wird.



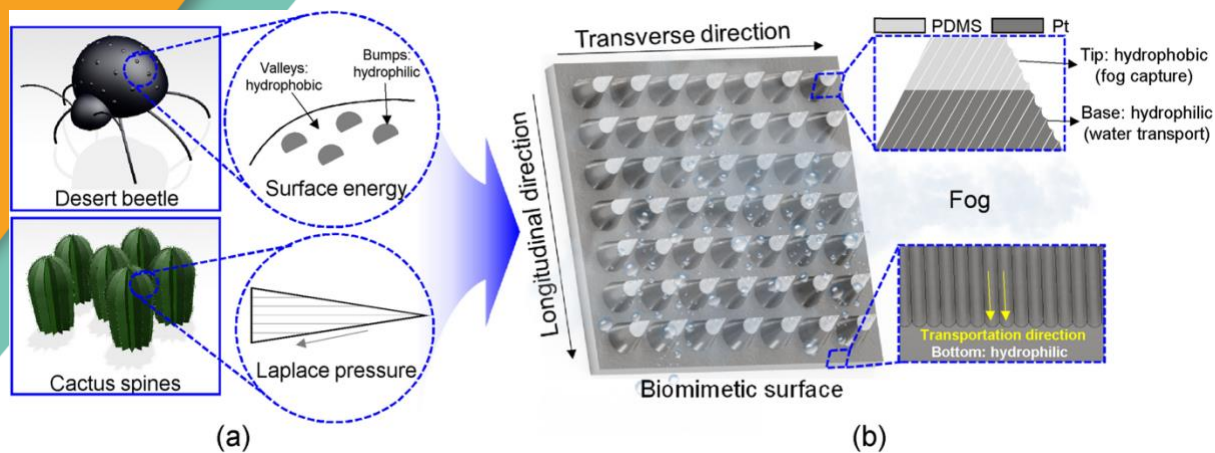


Abb. 7. (a) Illustration der Eigenschaften der beiden Flügeldecken des Namib-Wüstenkäfers und der Kaktusstacheln; (b) Schematische Darstellung der hierarchisch strukturierten biomimetischen Oberflächen, inspiriert von den Flügeldecken des Namib-Wüstenkäfers und den Kaktusstacheln. Quelle:

Ausführen:

Nutzung von Augmented Reality zur Erforschung naturinspirierter Designs in der MINT-Bildung

In der sich wandelnden MINT-Bildungslandschaft bietet die Integration von Bio-Inspiration und Designprinzipien aus der Natur einen äußerst ansprechenden Weg, um Schüler mit den Herausforderungen der Nachhaltigkeit in der realen Welt zu verbinden. Augmented Reality (AR) entwickelt sich in diesem Zusammenhang zu einem transformativen Werkzeug, das die Lücke zwischen abstrakten biologischen Konzepten und konkreten architektonischen Anwendungen für Schüler im Alter von 14 bis 18 Jahren schließt.

Jüngste Forschungsergebnisse unterstreichen, dass AR-Technologien das Engagement der Schüler deutlich steigern und ihr Verständnis vertiefen. Mithilfe von AR können Schüler mit dreidimensionalen Modellen biologischer Strukturen interagieren, wie beispielsweise der Mikrostruktur von Lotusblättern oder dem Belüftungssystem von Termitenhügeln, die in ihre physische Umgebung projiziert werden. Diese immersive Erfahrung hilft den Lernenden, komplexe MINT-Konzepte zu visualisieren, zu manipulieren und besser zu verstehen (BestColleges, 2024).

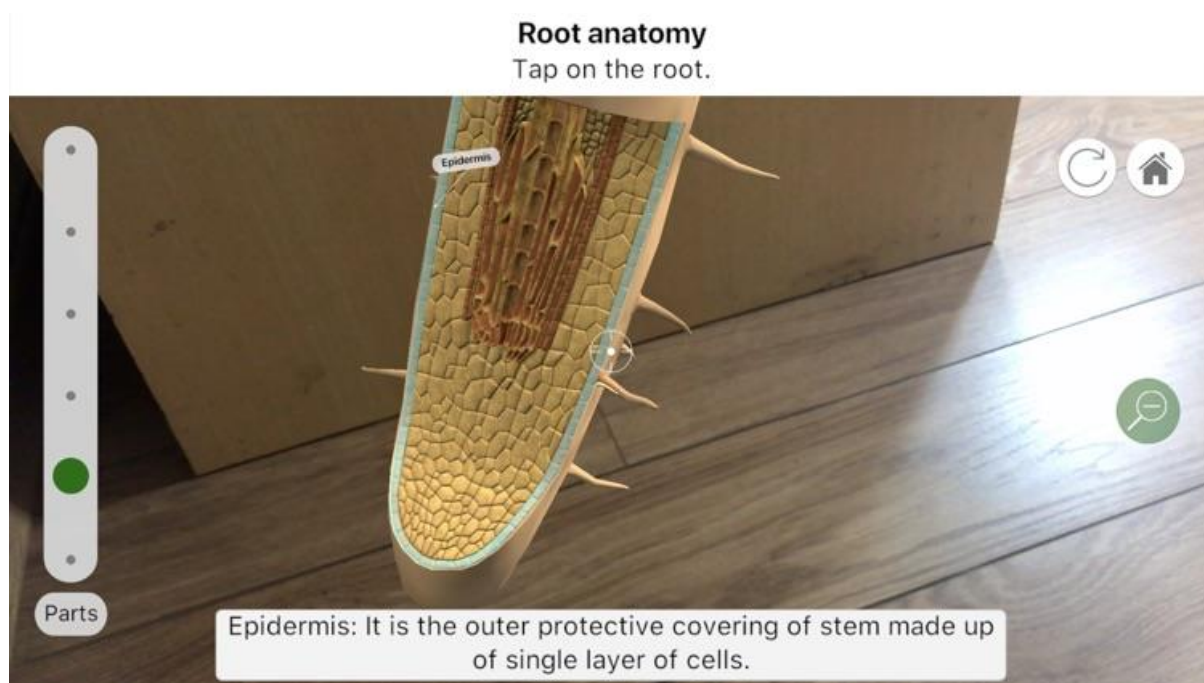
Darüber hinaus unterstützt AR die Visualisierung komplexer natürlicher Systeme, die mit traditionellen Lehrmethoden nur schwer zu erfassen sind. In der bioinspirierten Designausbildung ermöglicht AR den Schülern, dynamisch zu erforschen, wie natürliche Anpassungen, wie z. B. die Wassersammelmechanismen von Wüstenkäfern oder die selbstschattierenden Eigenschaften von Kaktushäuten, architektonische Innovationen inspirieren können. Studien haben gezeigt, dass AR im MINT-Kontext kritisches Denken, Kreativität und räumliches Denken fördern kann – entscheidende Fähigkeiten für zukünftige Ingenieure und Designer (Frontiers in Education, 2024).



Darüber hinaus bieten AR-Technologien Flexibilität und Inklusivität, da sie unterschiedlichen Lerntempi und -stilen gerecht werden. Die Studierenden können sich einzeln oder gemeinsam engagieren und Wissen entsprechend ihren Lernpräferenzen aufbauen. Diese Flexibilität trägt zu einer besseren Zugänglichkeit und Zufriedenheit der Studierenden in MINT-Bildungsumgebungen bei.

Schließlich ermöglicht die Integration von AR in die bioinspirierte Bildung den Schülern, sich mit theoretischem Wissen und authentischen Problemlösungserfahrungen auseinanderzusetzen. Das Entwerfen einer biomimetischen Fassade zur Reduzierung der Überhitzung in Städten oder die Konzeption eines Beschattungssystems auf der Grundlage des Verhaltens von Pflanzen vermittelt den Schülern interdisziplinäre Fähigkeiten an der Schnittstelle von Biologie, Technologie und Architektur. Dieser ganzheitliche Ansatz fördert Innovation, nachhaltiges Denken und die Bereitschaft für die reale Welt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Integration von AR-Tools in die bioinspirierte MINT-Bildung dynamische, integrative und zukunftsorientierte Lernerfahrungen schafft, die die Schüler dazu befähigen, durch das Lernen von der Natur innovativ zu sein.



Plantale App

Da die Augmented-Reality-Technologie (AR) im Bildungsbereich weiter an Bedeutung gewinnt, haben verschiedene Schulen und Bildungsinitiativen bereits ihr Potenzial zur Verbesserung des MINT-Lernens durch Bio-Inspiration unter Beweis gestellt. Diese Projekte zeigen, wie AR Schüler im Alter von 14 bis 18 Jahren dazu anregen kann, biologische Phänomene zu beobachten, natürliche Prinzipien zu verstehen und diese kreativ auf technische und gestalterische Herausforderungen anzuwenden. Die folgenden Beispiele veranschaulichen, wie AR erfolgreich





in bioinspirierte MINT-Bildungsumgebungen integriert wurde, um ein tieferes Engagement, konzeptionelles Verständnis und Innovationsfähigkeiten zu fördern.

Phase	Beschreibung
Erkunden	- Forschung und Entdeckung: Untersuchung biologischer Systeme (z. B. Termitenhügel, Lotusblätter, Vogelnester) und ihrer Relevanz für die Architektur.
	- Inhaltsentwicklung: Entwicklung von Grundlagenmaterialien, die erklären, wie biologische Funktionen auf architektonische Elemente (z. B. Belüftung, Isolierung, Struktur) angewendet werden können.
	- Bedarfsanalyse: Identifizieren Sie Wissenslücken und Lernmöglichkeiten in den Bereichen Bioarchitektur und nachhaltige Stadtplanung.
Durchführung	- Umsetzung des Lehrplans: Interdisziplinäre Unterrichtseinheiten anbieten, die Biologie und Architektur verbinden (z. B. wie die Haut von Kakteen als Vorbild für Oberflächen zur Wassersammlung dient).
	- Interaktive Übungen: Einbeziehung der Schüler durch praktische Aktivitäten und AR-Simulationen zur Modellierung von naturinspirierten Gebäudeeigenschaften.
	- Feedback-Erfassung: Sammeln Sie Erkenntnisse von Lernenden und Lehrenden, um die Integration biologischer Konzepte in das Design Thinking zu verbessern.
Verbessern	- AR-Integration: Wenden Sie AR an, um biomimetische Gebäudeelemente zu visualisieren und mit ihnen zu interagieren (z. B. Simulation des Luftstroms in von Termiten inspirierten Belüftungssystemen).
	- Interaktives Lernen: Die Schüler manipulieren biologische 3D-Modelle und architektonische Analoga und schlagen so eine Brücke zwischen Natur und gebauter Umwelt.
	Gamifizierte Inhalte: - Punkte und Abzeichen: Verdienen Sie Belohnungen, indem Sie biologische Strategien identifizieren und sie mit architektonischen Lösungen verknüpfen (z. B. Nachahmung des Lotuseffekts für die Selbstreinigung von Fassaden). - Ranglisten: Fördern Sie einen freundschaftlichen Wettbewerb bei Aufgaben wie dem Abgleichen natürlicher Systeme mit ihren gebauten Entsprechungen. - Quests und Levels: Bewältigen Sie Biomimikry-Herausforderungen, von grundlegenden biologischen Konzepten bis hin zu komplexen Designanwendungen. - Belohnungen für Erkundungen: Entdecken Sie versteckte architektonische Strategien in AR-Modellen von Tierlebensräumen oder Pflanzenstrukturen. - Kollaborative gamifizierte Aufgaben: Arbeiten Sie in Teams, um von der Natur inspirierte Stadtzonen zu entwerfen, und nutzen Sie AR, um die Auswirkungen auf die Umwelt und die Energieeffizienz zu simulieren.
	AR-basierte Bewertungen: - Nutzen Sie AR, um das Verständnis zu bewerten, indem Sie die Schüler die Umsetzung eines biologischen Prinzips (z. B. die Struktur von Waben) in eine Gebäudekomponente (z. B. modulare Wandsysteme) demonstrieren lassen.





Referenz

Aamer, H. S., Hamza, A. F., Khairy, M. & Ghonimi, I. (2020). Biomimikry als nachhaltige Designmethodik für das Verhalten von Gebäuden. *Engineering Research Journal*, 46(1), 191–201.

Bader, F., Halabi, außerordentlicher Professor, M., Mohsen, Assistenzprofessor, H., und Youssef, außerordentlicher Professor, M. (2021). VERWENDUNG DES BIOMIMIKRY-DESIGNANSATZES BEIM BAU NACHHALTIGER, RESILIENTER STRUKTUREN (FALLSTUDIE: HAFEN VON BEIRUT). *BAU Journal-Creative Sustain. Dev.* 2 (2). doi:10.54729/2789-8334.1041

Badarnah, L. (2017). Form folgt Umwelt: Biomimetische Ansätze für die Gestaltung von Gebäudehüllen zur Anpassung an die Umwelt. *Buildings*, 10(4), 42.

Bar-Cohen, Y. (2012). *Biomimetik: Naturbasierte Innovation*. CRC Press.

Barthlott, W., & Neinhuis, C. (1997). Die Reinheit des heiligen Lotus oder die Flucht vor Verunreinigungen auf biologischen Oberflächen. *Planta*, 202(1), 1–8.

Benyus, J. M. (1997). *Biomimikry: Von der Natur inspirierte Innovation*. Harper Perennial.

BestColleges. (2024). Die Rolle von Augmented Reality bei der Verbesserung der MINT-Bildung. *India Today*. <https://bestcolleges.indiatoday.in/news-detail/the-role-of-augmented-reality-in-enhancing-stem-education>.

Chayaamor-Heil, N. (2023). Von der Bioinspiration zur Biomimikry in der Architektur: Chancen und Herausforderungen. *Encyclopedia 3* (1), 202–223. doi:10.3390/encyclopedia3010014

Calabrese, E. (2015). Die Praxis biophiler Designwege zum Wohlbefinden – Projekt anzeigen. Verfügbar unter: <https://www.researchgate.net/publication/321959928>.

Dicks H, Bertrand-Krajewski J-L, Ménézo C, Rahbe Y, Pierron J und Harpet C 2021 Anwendung von Biomimikry auf Städte: Der Wald als Modell für Stadtplanung und -gestaltung, S. 271–88.

Dixit, S., und Stefańska, A. (2023). Bio-logik: eine Übersicht über die biomimetische Anwendung in der Architektur und im strukturellen Design. *Ain Shams Eng. J.* 14 (1), 101822. Ain Shams University, 01. Februar. doi:10.1016/j.asej.2022.101822

Ferwati, M. S., Alsuwaidi, M., Shafaghat, A., und Keyvanfar, A. (2019). Einsatz von Biomimikry in der urbanen Metamorphose auf der Suche nach Nachhaltigkeit: Fallstudien. *Archit. City Environ.* 14 (40), 133–162. doi:10.5821/ace.14.40.6460

Fratzl, P., & Barth, F. G. (2009). Biomaterialsysteme für Mechanosensorik und Aktuatorik. *Nature*, 462(7272), 442–448.





Frontiers in Education. (2024). Augmented Reality für die MINT-Bildung: Vorteile, Herausforderungen und zukünftige Forschungsrichtungen.

<https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2024.1391803/full>

IUCN (2020b). Leitfaden zur Anwendung des globalen Standards der IUCN für naturbasierte Lösungen. 1. Gland, Schweiz: IUCN. IUCN, Internationale Union für Naturschutz. doi:10.2305/IUCN.CH.2020.09.en

Jamei, E., und Vrcelj, Z. (2021). Biomimikry und die gebaute Umwelt: Von den Lösungen der Natur lernen. Appl. Sci. Switz. 11 (16), 7514. MDPI AG, 02.08. doi:10.3390/app11167514

Jain A, Cummings A, Lim G S, Shah I, Haan L, Teo L, Fadnavis M, Toh M M, Hays N, Dhuri R und Swaminathan S 2023 Biomimikry für tropische Gebäudehüllen, ein Design-Toolkit zur Steuerung des thermischen Komforts mithilfe der Genialität der Natur (Singapur: bioSEA Pte. Ltd.)

Judith Oginga, M. (2022). Envisaging the future of cities. New York: United Nations Publication.

Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R. und Jiang, L. (2012). Ein multistrukturelles und multifunktionales integriertes Nebelsammelsystem in Kakteen. Nature Communications, 3, 1247.

Kennedy, E., Fecheyr-Lippens, D., Hsiung, B.-K., Niewiarowski, P. H. und Kolodziej, M. (2015). Biomimikry: Ein Weg zu nachhaltiger Innovation. *Design Issues*, 31(3), 66–73.

Koch, K., Bhushan, B., & Barthlott, W. (2009). Multifunktionale Oberflächenstrukturen von Pflanzen: Eine Inspiration für die Biomimetik. Fortschritte in der Materialwissenschaft, 54(2), 137–178.

Landrum, N. E. und Mead, T. (2022). Nachhaltigkeit im Biom* Singapur. Springer, 1–15. doi:10.1007/978-981-19-1812-4_1/COVER

Matthews, J., Ocampo, E. und Cruz, D. (2022). Integration naturbasierter Lösungen für die Anpassung an den Klimawandel und das Katastrophenrisikomanagement: Ein Leitfaden für Praktiker.

Madmar, S, Zaly Saleh, M, Ak Mattusin, A.M.R, Ilhan, A.A. (2023). Anwendungen der Biomimikry in der Stadtplanung: Untersuchung der Relevanz neuer Ansätze für die Stadtgestaltung, die sich von der Natur inspirieren lassen. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, doi:10.1088/1755-1315/1274/1/012015

Nørgaard, T., Dacke, M., & Warrant, E. J. (2012). Nebelbadverhalten und Wassersammeleffizienz bei Käfern in der Namib-Wüste. Frontiers in Zoology, 9, 9. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-9-9>.





Oguntona, O. A., und Aigbavboa, C. O. (2023a). Inspiration, Nachahmung und Emulation durch die Natur: Biomimikry als Denkansatz für Nachhaltigkeit in der Bauindustrie. *Front. Built Environ.* 9, 1085979. doi:10.3389/fbuil.2023.1085979

Oguntona, O. A. und Aigbavboa, C. O. (2023b). Inspiration, Nachahmung und Emulation durch die Natur: Biomimikry als Denkansatz für Nachhaltigkeit in der Bauindustrie. *Front. Built Environ.* 9. doi:10.3389/fbuil.2023.1085979.

Othmani, N. I., Mohamed, S. A., Abdul Hamid, N. H., Ramlee, N., Yeo, L. B. und Mohd Yunus, M. Y. (2022). Überprüfung von Fallstudien zum Biomimikry-Design als Lösung für nachhaltiges Design. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 (46), 69327–69340. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi:10.1007/s11356-022-22342-z.

Sowińska-Świerkosz, B., und García, J. (2022). Was sind naturbasierte Lösungen (NBS)? Festlegung von Kernideen zur Konzeptklärung. *Nature-Based Solutions* 2, 100009. doi:10.1016/j.nbsj.2022.100009

Turner, J. S., & Soar, R. C. (2008). Jenseits der Biomimikry: Was Termiten uns über die Verwirklichung des lebenden Gebäudes lehren können. Erste internationale Konferenz über industrialisiertes, intelligentes Bauen.

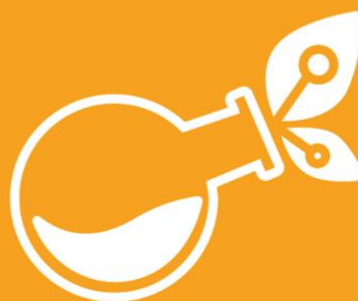
Urdinola-Serna, D., und diseño, B. y (2018). Primera Edición, 2018. Projekt: Repertoire bioinspirierter Oberflächen und Texturen durch morphologische Experimente mit digitaler Fertigungstechnologie. Radicado 601B-05/16-35. Verfügbar unter: <https://www.upb.edu.co>.

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A.-K. (2006). Biomimetik: Praxis und Theorie. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471–482.





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.