



Co-funded by
the European Union

Gefährdetes Ökosystem: Auswirkungen des Klimawandels



BIOS4YOU
AR 2.0

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

Project Number: 2023-1-DE03-KA220-SCH-000126516

"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."





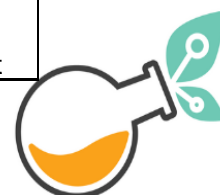
Inhaltsverzeichnis

Einleitung:	4
1: Erkunden	6
Klimawandelverläufe und Kipppunkte	6
Fragen	9
Bedrohungen und Herausforderungen für Ökosysteme durch den Klimawandel	9
Fragen	10
Chancen für die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen	10
Fragen	11
Schlussfolgerung	12
2: Umsetzung	13
3: Verbessern	15
Referenzen	17





Allgemeines Thema des Lernpfads	Klimawandel und Nachhaltigkeit von Ökosystemen
Spezifischer Name der Lerneinheit	Gefährdetes Ökosystem: Wie sich der Klimawandel auf die Natur auswirkt
Alter der Zielgruppe	14–18 Jahre
Anforderungen an die Lernenden	Die Schüler sollten über grundlegende Kenntnisse in Ökologie und Klimawandel verfügen. Sie sollten in der Lage sein, kurze wissenschaftliche Texte zu lesen, in Gruppen zu arbeiten und ihre Ideen in einfachem schriftlichem und mündlichem Englisch auszudrücken. Interesse an Natur und Nachhaltigkeit wird empfohlen.
Beschreibung der Lerneinheit	Diese Lerneinheit hilft den Schülern zu verstehen, wie sich der Klimawandel auf verschiedene Ökosysteme auswirkt: terrestrische, Süßwasser- und Meeresökosysteme. Die Schüler untersuchen reale Beispiele für die Auswirkungen des Klimawandels wie steigende Temperaturen, Verlust der Artenvielfalt, extreme Wetterereignisse und Kipppunkte in Ökosystemen. Die Einheit kombiniert Lesen, Diskussionen, kurze Videos, Quizfragen und interaktive digitale Aktivitäten. Ein Schlüsselement der Einheit ist ein Augmented-Reality-Quiz (AR), das in Delightex erstellt werden soll. Obwohl die AR-Aktivität erst später entwickelt wird, bereitet die Einheit die Schüler bereits durch klare Erklärungen, interaktive Aufgaben und Reflexionsaktivitäten darauf vor. Die Schüler lernen naturbasierte Lösungen kennen und diskutieren, wie Ökosysteme widerstandsfähiger werden können. Die Einheit





	fördert kritisches Denken, Teamarbeit und Verbindungen zwischen globalen Klimaproblemen und lokalen Umweltbedingungen.
Thema: Beteiligte Parteien	Schüler, Lehrer für Naturwissenschaften (Biologie/Umweltwissenschaften), IKT- oder digitale Lernspezialisten
Stichworte	Klimawandel, Ökosysteme, Biodiversität, Resilienz, Anpassung, Kipppunkte, Nachhaltigkeit, naturbasierte Lösungen, AR in der Bildung
Wichtige Qualifikationen, Fähigkeiten und Kenntnisse, die erworben werden können	- Verständnis dafür, wie sich der Klimawandel auf Ökosysteme auswirkt - Bewusstsein für Ökosystemleistungen und Zusammenhänge - Fähigkeit, mit einfachen wissenschaftlichen Informationen zu arbeiten - Kritisches Denken und Problemlösung - Fähigkeiten zur Zusammenarbeit und Diskussion - Digitale Kompetenz und Erfahrung mit interaktiven Tools
Verwendete Ressourcen und didaktische Hilfsmittel	- Kurze adaptierte Texte auf der Grundlage von IPCC- und wissenschaftlichen Berichten - Infografiken und einfache Ökosystemdiagramme - Kurze Lehrvideos (z. B. YouTube-/National Geographic-Clips) - Interaktives Quiz (Wordwall) - Reflexionsarbeitsblätter - Materialien für Gruppenprojekte - Geplante AR-Aktivität in Delightex (wird später erstellt)
Bewertungskriterien und Bewertung	- Teilnahme an Diskussionen und Aktivitäten - Genauigkeit und Vollständigkeit der AR-basierten Beobachtungen zur Biodiversität - Reflektierende schriftliche Arbeit zu Resilienzstrategien - Gruppenpräsentation zu naturbasierten Lösungen - Abschlussquiz oder digitaler Bericht, in dem die wichtigsten Bedrohungen und Lösungen zusammengefasst werden





Einführung:

Der Klimawandel stellt eine der größten globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass steigende globale Temperaturen, schmelzende Gletscher, steigende Meeresspiegel, stärkere Stürme und sich verändernde Niederschlagsmuster bereits weltweit Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme haben (Hoegh-Guldberg et al., 2018; National Academy of Sciences, 2019). Diese Umweltveränderungen beeinflussen nicht nur die menschlichen Gesellschaften, sondern auch Pflanzen, Tiere und die Ökosysteme, von denen das Leben auf der Erde abhängt. Ökosysteme sind stark mit der Atmosphäre und den Ozeanen verbunden. Wälder, Böden, Feuchtgebiete und Ozeane spielen eine entscheidende Rolle bei der Regulierung des Klimas, indem sie Kohlendioxid absorbieren, Kohlenstoff speichern und Wetterverhältnisse beeinflussen (Bardgett & Caruso, 2020). Aufgrund dieser engen Verbindungen können selbst relativ geringe klimatische Veränderungen erhebliche ökologische Auswirkungen haben. Wenn ein Teil eines Ökosystems gestört wird, können sich die Auswirkungen auf andere Arten und Prozesse ausbreiten und zu kaskadenartigen Veränderungen im gesamten System führen (Bennett et al., 2016).

Menschliche Aktivitäten sind die Hauptursache für den aktuellen Klimawandel. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe, Abholzung, intensive Landwirtschaft und industrielle Prozesse erhöhen die Treibhausgasemissionen, die Wärme in der Atmosphäre speichern und zu globaler Erwärmung und Versauerung der Ozeane führen (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Mit steigenden Temperaturen haben viele Arten Schwierigkeiten, sich an die neuen Bedingungen anzupassen, was zu Veränderungen in der Verbreitung, zum Rückgang der Populationen und zum Verlust der Artenvielfalt führt.

Wissenschaftler warnen davor, dass ein Anstieg der globalen Temperatur um mehr als 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau das Risiko, dass Ökosysteme einen Kipppunkt erreichen, erheblich erhöht (Lenton et al., 2019). Ein Kipppunkt ist eine kritische Schwelle, ab der sich ein Ökosystem schnell in einen neuen und oft irreversiblen Zustand verändern kann. Beispiele hierfür sind der Zusammenbruch von





Korallenriffen, großflächiges Waldsterben und Störungen der Süßwassersysteme (Turner et al., 2020). Sobald diese Kipppunkte überschritten sind, wird die Wiederherstellung des Ökosystems extrem schwierig oder unmöglich.

Das Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme ist für die Entwicklung wirksamer Strategien zur Eindämmung und Anpassung von entscheidender Bedeutung. Wissenschaftliche Erkenntnisse unterstreichen die Bedeutung des Schutzes von Ökosystemen und der Förderung naturbasierter Lösungen, um die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen zu stärken und langfristige Umweltrisiken zu verringern (Nicholls et al., 2018; Molotoks et al., 2020). Durch die Untersuchung dieser Prozesse erhalten die Lernenden ein klareres Verständnis dafür, warum Klimaschutzmaßnahmen und ein nachhaltiges Umweltmanagement notwendig sind, um sowohl die natürlichen Systeme als auch das Wohlergehen der Menschen für zukünftige Generationen zu sichern.

1: Erkunden

Verläufe des Klimawandels und Kipppunkte

Der Klimawandel beeinflusst Ökosysteme, indem er wichtige physikalische und biologische Prozesse verändert, die den Energiefluss, den Kohlenstoffkreislauf und die Wechselwirkungen zwischen Arten regulieren. Wissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass steigende globale Temperaturen und zunehmende Konzentrationen von Kohlendioxid in der Atmosphäre sowohl terrestrische als auch marine Ökosysteme beeinflussen und häufig deren Stabilität und Widerstandsfähigkeit verringern (Hoegh-Guldberg et al., 2018; National Academy of Sciences, 2019).



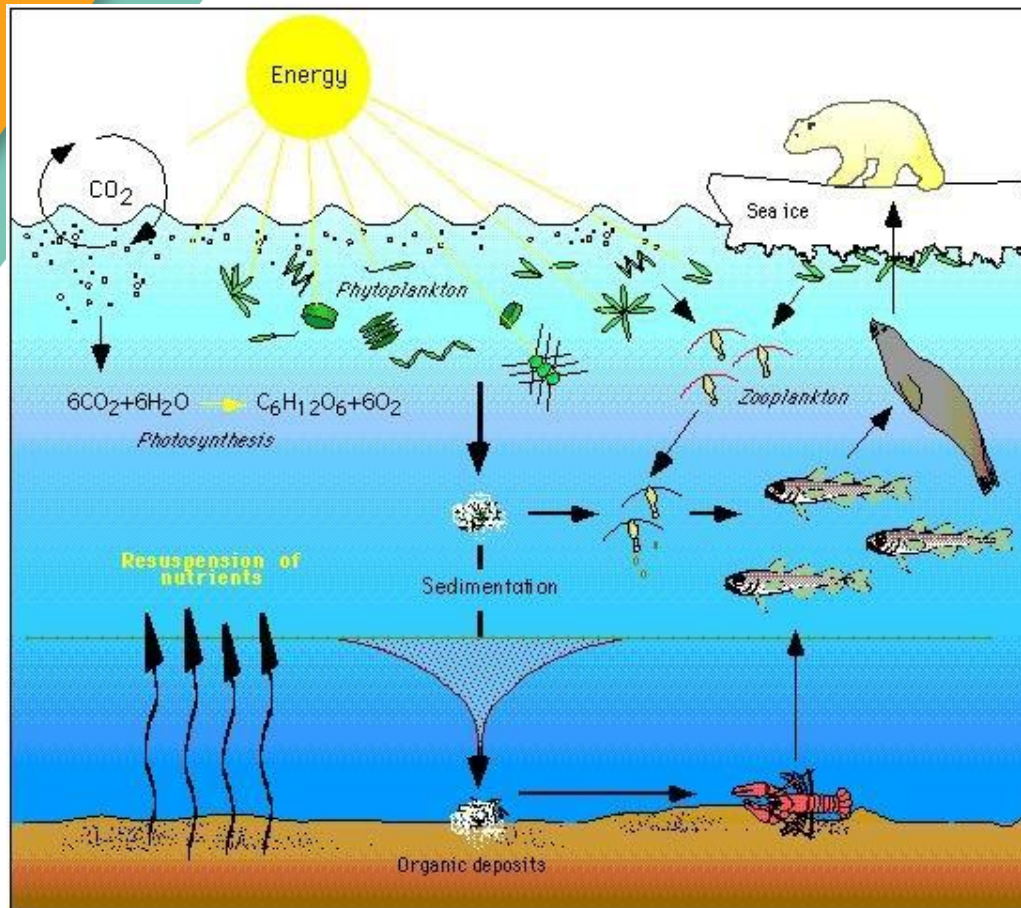


Abbildung 1: Energiefluss und Kohlenstoffkreislauf in einem marinen Ökosystem.

Wie in **Abbildung 1** dargestellt, treibt Sonnenenergie die Photosynthese im Phytoplankton an, das die Grundlage der marinen Nahrungsnetze bildet. Durch Photosynthese absorbiert Phytoplankton Kohlendioxid aus der Atmosphäre und wandelt es in organische Substanz um, wodurch höhere trophische Ebenen unterstützt werden und zur Klimaregulierung beigetragen wird. Kohlenstoff und Nährstoffe bewegen sich durch trophische Interaktionen, Sedimentation und Nährstoffrecycling durch das Ökosystem. Der Klimawandel kann diese Prozesse stören, indem er die Wassertemperaturen erhöht, die Ozeanzirkulation verändert und die Verfügbarkeit von Nährstoffen verringert (Bardgett & Caruso, 2020).



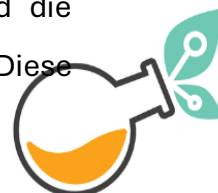


Conceptual diagram illustrating climate change impacts on ecosystem components and management practices.
Diagram courtesy of the Integration and Application Network (ian.umces.edu), University of Maryland Center for Environmental Science. Source: Kaufman L and Tschirky J 2010. *Living with the Sea*. Science and Knowledge Division, Conservation International, Arlington, VA, USA.

Abbildung 2: Kippunkte und abrupte Veränderungen im Ökosystem.

Abbildung 2 verdeutlicht die trophischen Wechselwirkungen innerhalb von Ökosystemen und zeigt, wie klimabedingte Stressfaktoren die Anfälligkeit von Ökosystemen erhöhen. Steigende Temperaturen, die Versauerung der Ozeane und Veränderungen der Lebensräume wirken sich zunächst auf die Primärproduzenten aus, aber die Auswirkungen breiten sich über Kaskadeneffekte auf die gesamten Nahrungsnetze aus. Wenn die Produktivität des Phytoplanktons zurückgeht, kann dies auch zu einem Rückgang des Zooplanktons, der Fische und der Spitzenprädatoren führen. Diese miteinander verbundenen Reaktionen zeigen, dass Ökosysteme nicht isoliert auf den Klimawandel reagieren, sondern als komplexe Systeme mit starken internen Abhängigkeiten (Bennett et al., 2016).

Die weiterreichenden Folgen dieser Veränderungen werden in **Abbildung 3** dargestellt, die eine **Klimakaskade in Einzugsgebietssystemen** zeigt. Diese Abbildung veranschaulicht, wie Klimafaktoren wie Temperaturanstieg und veränderte Niederschlagsmuster gleichzeitig mehrere Komponenten des Ökosystems beeinflussen. Veränderungen der Niederschlagsmenge und Temperatur beeinflussen die Boden feuchtigkeit, den Wasserfluss, den Salzgehalt, die Vegetation und die Artenwanderung in terrestrischen, Süßwasser- und Küstenökosystemen. Diese



miteinander verbundenen Prozesse können zu unerwarteten Folgen führen, wie z. B. vermehrten Überschwemmungen, Lebensraumverlust und verminderter Wasserqualität (Turner et al., 2020).

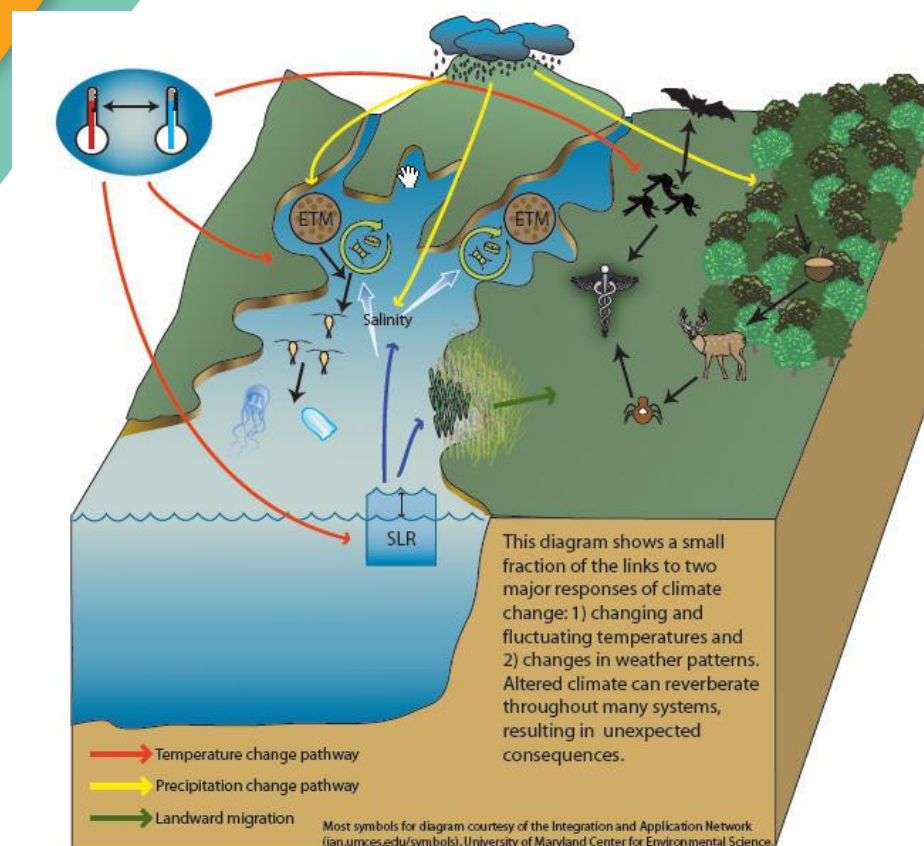
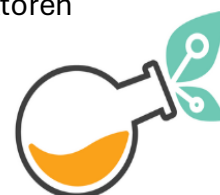


Abbildung 3: Klimakaskade in Einzugsgebietssystemen.

Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen gemeinsam, wie sich die Auswirkungen des Klimawandels von **physikalischen Faktoren** (Temperatur und Niederschlag) auf **biologische Reaktionen** (Veränderungen der Produktivität, Wechselwirkungen zwischen Arten und Migration) auswirken. Diese Kaskadeneffekte erhöhen das Risiko von **Kipppunkten im Ökosystem**, bei denen allmähliche Umweltveränderungen zu schnellen und möglicherweise irreversiblen Veränderungen des Ökosystems führen (Lenton et al., 2019).

Neben dem Klimawandel sind Ökosysteme auch anderen menschlichen Belastungen ausgesetzt, darunter Umweltverschmutzung, Landnutzungsänderungen und die Übernutzung natürlicher Ressourcen. Das Zusammenspiel dieser Stressfaktoren





verringert die Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme zusätzlich und erschwert ihre Erholung (Harrison, 2020).

Das Verständnis dieser miteinander verbundenen Prozesse ist für die Entwicklung wirksamer Strategien zur Eindämmung und Anpassung von entscheidender Bedeutung. Wissenschaftliche Untersuchungen unterstreichen die Bedeutung naturbasierter Lösungen, der Wiederherstellung von Ökosystemen und eines adaptiven Managements für die Stärkung der Widerstandsfähigkeit und die Verringerung klimabedingter Risiken in Ökosystemen (Nicholls et al., 2018; Molotoks et al., 2020).

Fragen

1. Wie wirkt sich der Klimawandel laut dem Text auf den Energiefluss und den Kohlenstoffkreislauf in Ökosystemen aus?
2. Warum erhöhen Kaskadeneffekte das Risiko von Kipppunkten in Ökosystemen?

Bedrohungen und Herausforderungen für Ökosysteme durch den Klimawandel

Der Klimawandel stellt eine Vielzahl von Bedrohungen für Ökosysteme auf der ganzen Welt dar. Steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und die zunehmende Häufigkeit extremer Wetterereignisse gehören zu den sichtbarsten Auswirkungen des Klimawandels. Diese Umweltveränderungen wirken sich je nach Standort und Struktur unterschiedlich auf die Ökosysteme aus (National Academy of Sciences, 2019).

Terrestrische Ökosysteme sind mit Verschiebungen der Vegetationsperioden, Veränderungen in der Artenverteilung und einem zunehmenden Verlust der biologischen Vielfalt konfrontiert. Viele Pflanzen- und Tierarten sind gezwungen, in neue Gebiete zu wandern oder sich an veränderte Bedingungen anzupassen, während andere mit einem Rückgang ihrer Populationen oder sogar dem Aussterben konfrontiert sind. Auch Süßwasserökosysteme wie Flüsse und Seen sind sehr anfällig. Höhere Wassertemperaturen, Veränderungen der Niederschlagsmengen und Verschmutzung beeinträchtigen die Wasserqualität und den Wasserhaushalt und belasten die





Wasserorganismen. Meeresökosysteme sind zusätzlichen Belastungen ausgesetzt, darunter die Erwärmung der Ozeane, die Versauerung der Meere und die Korallenbleiche, die die biologische Vielfalt und die Ökosystemleistungen bedrohen (National Academy of Sciences, 2019).

Die Reaktionen des Ökosystems auf den Klimawandel sind aufgrund der starken gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Arten komplex. Wenn eine trophische Ebene betroffen ist, können sich die Auswirkungen über das gesamte Nahrungsnetz ausbreiten und Kaskadeneffekte hervorrufen. Untersuchungen zeigen, dass der Klimawandel oft mit anderen vom Menschen verursachten Belastungen wie Lebensraumzerstörung, Umweltverschmutzung und Übernutzung zusammenwirkt, was die Degradation des Ökosystems weiter verstärkt (Bennett et al., 2016).

Darüber hinaus können Ökosysteme kritische Schwellenwerte oder Kipppunkte erreichen, an denen allmähliche Umweltveränderungen zu plötzlichen und möglicherweise irreversiblen Veränderungen in der Struktur und Funktionsweise des Ökosystems führen (Lenton et al., 2019). Diese Risiken unterstreichen die dringende Notwendigkeit von Strategien zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an dessen Folgen. Ohne eine erhebliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen sind Ökosysteme und die Dienstleistungen, die sie für die menschliche Gesellschaft erbringen, von tiefgreifenden und langfristigen Störungen bedroht.

Fragen

1. Was sind die größten Bedrohungen durch den Klimawandel für terrestrische, Süßwasser- und Meeresökosysteme?
2. Warum verstärken Wechselwirkungen zwischen dem Klimawandel und anderen menschlichen Einflüssen die Degradation von Ökosystemen?

Chancen für die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen

Trotz dieser Herausforderungen hat die wissenschaftliche Forschung Wege gefunden, um die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen zu stärken, definiert als die Fähigkeit von Ökosystemen, Umweltveränderungen zu widerstehen, sich daran anzupassen und sich





davon zu erhalten. Ein wichtiger Ansatz ist der Einsatz naturbasierter Lösungen (NbS), die den Schutz, die Wiederherstellung und die nachhaltige Bewirtschaftung von Ökosystemen mit Klimaschutzmaßnahmen verbinden (Nicholls et al., 2018).

Beispiele für naturbasierte Lösungen sind die Wiederherstellung von Feuchtgebieten, wodurch die Kohlenstoffbindung verbessert und das Hochwasserrisiko verringert wird, sowie Wiederaufforstungsprojekte, die Kohlendioxid absorbieren und gleichzeitig Lebensräume und Migrationskorridore für Wildtiere schaffen. Diese Ansätze bieten sowohl für Ökosysteme als auch für menschliche Gemeinschaften vielfältige Vorteile.

Adaptive Managementstrategien sind ebenfalls unerlässlich, um der Dynamik der Auswirkungen des Klimawandels gerecht zu werden. Solche Strategien umfassen die kontinuierliche Überwachung von Ökosystemen und die Anpassung von Naturschutzmaßnahmen auf der Grundlage beobachteter Veränderungen und wissenschaftlicher Erkenntnisse (Turner et al., 2020). Die Einbindung lokaler Gemeinschaften und Interessengruppen stärkt die Resilienz, indem wissenschaftliche Erkenntnisse mit lokalen Erfahrungen und traditionellem ökologischem Wissen kombiniert werden.

Die internationale Zusammenarbeit spielt eine wichtige Rolle beim Schutz von Ökosystemen, indem sie den Austausch von bewährten Verfahren, Wissen und finanziellen Ressourcen für groß angelegte Wiederherstellungsprojekte unterstützt (Molotoks et al., 2020). Darüber hinaus sind Bildungs- und Sensibilisierungsinitiativen von entscheidender Bedeutung für die Förderung nachhaltigen Verhaltens. Durch ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zwischen menschlichen Aktivitäten und Ökosystemen können Gesellschaften dazu angeregt werden, nachhaltigere Praktiken anzuwenden.

Fragen

1. Was sind naturbasierte Lösungen und wie tragen sie zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen bei?
2. Warum sind adaptives Management und die Einbindung der Bevölkerung wichtig, um auf den Klimawandel zu reagieren?





Fazit

Diese Lerneinheit verdeutlicht, wie wichtig es ist, zu verstehen, wie sich der Klimawandel durch miteinander verbundene physikalische und biologische Prozesse auf Ökosysteme auswirkt. Wissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass klimabedingte Bedrohungen in Verbindung mit anderen vom Menschen verursachten Belastungen das Risiko einer Verschlechterung der Ökosysteme und irreversibler Veränderungen erhöhen. Gleichzeitig belegen Forschungsergebnisse, dass wirksame Maßnahmen zur Eindämmung und Anpassung sowie naturbasierte Lösungen die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen stärken und langfristige Risiken verringern können (Harrison, 2020).

Die Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels erfordert koordinierte Maßnahmen über wissenschaftliche Disziplinen, Politikbereiche und Gesellschaften hinweg. Politiker, Wissenschaftler, Pädagogen und die Öffentlichkeit müssen zusammenarbeiten, um Strategien zu entwickeln und umzusetzen, die sowohl die Auswirkungen des Klimawandels mindern als auch die Funktionsfähigkeit der Ökosysteme schützen. Durch fundierte Entscheidungen und gemeinsames Handeln ist es möglich, die Ökosysteme und die von ihnen erbrachten grundlegenden Leistungen für künftige Generationen zu erhalten.





2: Umsetzen

Nach Abschluss der Lese- und Diskussionsaktivitäten in Abschnitt 1: Erkunden gehen die Schüler von theoretischem Verständnis zu praktischer Anwendung über, und zwar mithilfe einer Augmented-Reality-Aktivität (AR), die in Delightex Studio entwickelt wurde. Das Hauptziel dieser Phase besteht darin, Wissen über Klimawandelverläufe, Kipppunkte von Ökosystemen und Umweltbedrohungen auf interaktive und sinnvolle Weise anzuwenden.

Das speziell für diese Lerneinheit entwickelte AR-Quiz ist als Mission aufgebaut, die das Verständnis der Schüler für die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Ökosysteme testet. Anstatt einfach nur Informationen abzurufen, werden die Lernenden von virtuellen Ökosystem-Wächtern angeleitet – symbolischen Figuren wie einem Wal, der für Meeresökosysteme steht, einer Koralle, die für Riffsysteme steht, und einem Regenwaldbaum, der für terrestrische Ökosysteme steht. Jeder Wächter stellt sein Ökosystem vor, erklärt eine reale klimabezogene Herausforderung (z. B. Korallenbleiche, Anstieg des Meeresspiegels oder Verlust der Artenvielfalt) und stellt eine Multiple-Choice-Frage.

Die Quizfragen basieren direkt auf den wissenschaftlichen Inhalten, die in Abschnitt 1 behandelt wurden. Sie konzentrieren sich auf Schlüsselthemen wie die Bedeutung der Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 °C, die Unterschiede zwischen den Risiken bei einer Erwärmung um 1,5 °C und 2 °C, Ökosysteme, die besonders anfällig für den Klimawandel sind, Kaskadeneffekte, die durch Störungen auf einer trophischen Ebene verursacht werden, und Strategien zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit durch naturbasierte Lösungen (NbS).

Die Schüler absolvieren das Quiz individuell auf ihren digitalen Geräten. Bei richtigen Antworten gelangen sie zum nächsten Ökosystem, während falsche Antworten unterstützendes Feedback auslösen, das zum Nachdenken und Überdenken anregt. Diese schrittweise Struktur vermittelt das Gefühl einer Reise durch terrestrische, Süßwasser- und Meeresökosysteme und hilft den Schülern, deren Zusammenhänge





und die globale Dimension der Klimarisiken zu verstehen, während sie klare und überschaubare Aufgaben bearbeiten.

Auf die AR-Aktivität folgt eine geleitete Reflexionsrunde. In dieser Phase diskutieren die Schüler, welche Teile des Quiz sie als besonders schwierig empfanden, erklären, wie sie an die Problemlösung herangegangen sind, und setzen globale Klimabeispiele in Beziehung zu lokalen Umweltkontexten, mit denen sie vertraut sind. Diese Reflexionskomponente stellt sicher, dass die AR-Aktivität nicht nur als Bewertungsinstrument dient, sondern auch als Katalysator für tiefere Diskussionen, kritisches Denken und kollaboratives Lernen.





3: Verbessern

Die Integration des Delightex AR-Quiz in die Lerneinheit verbessert den Lernprozess, indem es die Schüler vom passiven Konsum von Inhalten zum aktiven und erfahrungsorientierten Lernen führt. Anstatt Informationen zu lesen und Fragen in einem statischen Format zu beantworten, interagieren die Schüler mit virtuellen Charakteren und Umgebungen, die ein tieferes Verständnis wissenschaftlicher Konzepte fördern.

Ein wesentlicher Vorteil der AR-Integration ist die verbesserte Visualisierung komplexer Prozesse. Konzepte wie Kippunkte in Ökosystemen, Kaskadeneffekte und klimabedingte Veränderungen sind allein anhand von Texten oft schwer zu verstehen. Die Darstellung dieser Ideen mithilfe von Ökosystem-Wächtern und interaktiven AR-Elementen schafft einen klareren und einprägsameren Lernkontext und hilft den Schülern, abstrakte Klimaprozesse mit konkreten visuellen Darstellungen zu verknüpfen.

Auch die Motivation und das Engagement der Schüler werden deutlich gesteigert. Das AR-Quiz ist als Mission konzipiert, in der die Schüler Schritt für Schritt durch verschiedene Ökosysteme voranschreiten. Diese Struktur weckt Neugierde und vermittelt ein Erfolgserlebnis, da die Lernenden neue Herausforderungen freischalten und auf der Grundlage ihrer Antworten vorankommen. Im Vergleich zu herkömmlichen Quizzen verringert dieses interaktive Format die Angst vor Bewertungen und fördert die aktive Teilnahme.

Die AR-Aktivität fördert auch kritisches Denken und die Anwendung von Wissen. Da alle Aufgaben direkt auf den in Abschnitt 1 behandelten wissenschaftlichen Inhalten basieren, müssen die Schüler Informationen abrufen, analysieren und anwenden, anstatt sich auf Vermutungen zu verlassen. Die Reflexionsphase vertieft das Gelernte zusätzlich, indem sie die Schüler dazu anregt, ihre Überlegungen zu erklären, Quizfragen mit umfassenderen ökologischen Konzepten zu verknüpfen und zu überlegen, wie ähnliche Herausforderungen in realen Kontexten auftreten.





Darüber hinaus fördert das AR-Quiz die Zusammenarbeit und Inklusivität. Obwohl die Schüler die Aufgabe individuell bearbeiten, bieten die anschließende gemeinsame Reflexion und Diskussion Möglichkeiten zum gegenseitigen Lernen und zum Vergleich von Problemlösungsstrategien. Der Einsatz visueller und interaktiver Elemente unterstützt unterschiedliche Lernstile und macht wissenschaftliche Inhalte für ein breiteres Spektrum von Lernenden zugänglicher.





Phase	Beschreibung
Erkunden	- Forschung und Entdeckung: Die Schüler untersuchen angepasste IPCC-Materialien und ausgewählte wissenschaftliche Artikel, um aktuelle Erkenntnisse über die Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme zu verstehen. Zu den Schlüsselkonzepten gehören Kipppunkte, Ökosystemleistungen und Resilienz.
	- Inhaltsentwicklung: Die Lernenden fassen gemeinsam wissenschaftliche Informationen mithilfe von visuellen Materialien wie Infografiken, Karten und Diagrammen zu terrestrischen, Süßwasser- und Meeresökosystemen zusammen.
	- Bedarfsanalyse: Der Lehrer bewertet die Vorkenntnisse anhand kurzer Fragebögen und geleiteter Diskussionen, um die Inhalte an das Niveau und die Interessen der Schüler anzupassen.
Durchführung	- Umsetzung des Lehrplans: Die Unterrichtsinhalte werden durch Präsentationen, geleitete Lektüre und AR-basierte Aktivitäten vermittelt. Ökosystemmodelle und Beispiele aus der realen Welt werden verwendet, um Klimabedrohungen zu visualisieren.
	- Interaktive Übungen: Die Schüler nutzen AR-Anwendungen (z. B. <i>Seek von iNaturalist</i> und <i>Google Arts & Culture – Expeditions</i>), um die Artenvielfalt zu erkunden, Arten zu beobachten und Umweltveränderungen zu simulieren.
	- Feedback-Erfassung: Die Lernenden füllen Reflexionsbögen aus und nehmen an Gruppendiskussionen und Peer-Feedback teil. Die Lehrkräfte geben während des gesamten Prozesses formatives Feedback.
Verbessern	- AR-Integration: Mit AR-Tools können Schüler gefährdete Ökosysteme virtuell erkunden, Arten in ihren Lebensräumen beobachten und mit vereinfachten Klimasimulationen interagieren.
	- Interaktives Lernen: Die Schüler führen mit Unterstützung von AR Untersuchungen im Freien oder vor Ort durch und beteiligen sich an gemeinschaftlichem digitalen Storytelling, wobei sie Klimawissenschaft mit Reaktionen des Ökosystems verknüpfen.
	Gamifizierte Inhalte: Das AR-Quiz enthält gamifizierte Elemente, die die Bewertung in eine narrative Lernerfahrung verwandeln und nicht in einen traditionellen Test. Das Design kombiniert Fortschritt, Rollen und symbolische Anerkennung, um die Motivation aufrechtzuerhalten. Eine narrative Handlung führt die Schüler in eine Mission ein, die von Wächtern des Ökosystems geleitet wird, wie beispielsweise einem Wal, der für Meeresökosysteme steht, einer Koralle, die für Riffe steht, oder einem Baum, der für Wälder steht. Jeder Wächter stellt sein Ökosystem vor und präsentiert Herausforderungen im Zusammenhang mit realen Bedrohungen durch den Klimawandel, wodurch ein Gefühl von Sinnhaftigkeit und Kontinuität entsteht. Das Quiz folgt einem stufenweisen Aufbau. Jede richtige Antwort schaltet das nächste Ökosystem frei und simuliert so die Bewegung durch vom Klimawandel betroffene Umgebungen. Diese Struktur hilft den Schülern, die Zusammenhänge zwischen den Ökosystemen zu verstehen und gleichzeitig ihr Interesse aufrechtzuerhalten. Anstatt sich nur auf Punkte zu konzentrieren, erhalten die Schüler Leistungstitel, die ihr Verständnis und ihr Engagement widerspiegeln. Titel wie „<i>Ökosystem-Entdecker</i>“, „<i>Resilienz-Aufbauer</i>“ und „<i>Klimaschützer</i>“ bieten symbolische Anerkennung und fördern die Identität und Motivation der Lernenden. Auf die individuelle Mission folgt eine gemeinsame Reflexionsrunde. Die Schüler vergleichen ihre Ergebnisse, diskutieren schwierige Fragen und reflektieren darüber,





	wofür jeder Ökosystem-Wächter stand. Diese Diskussion verwandelt die spielerische Aktivität in eine Grundlage für tieferes Lernen und gemeinsame Sinnfindung.
	Die Bewertung innerhalb dieser Einheit basiert auf der Fähigkeit der Studierenden, AR-Tools zu verwenden, um Umweltbeobachtungen zu dokumentieren, Biodiversitätsprotokolle zu erstellen und evidenzbasierte Vorschläge zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen zu entwickeln. Diese digitalen Ergebnisse werden mit reflektierenden schriftlichen Arbeiten und mündlichen Präsentationen kombiniert, um eine ausgewogene und umfassende Bewertung der Lernergebnisse zu ermöglichen.

Referenzen

Bardgett, R. D., & Caruso, T. (2020). Reaktionen der mikrobiellen Bodenlebensgemeinschaft auf Klimaextreme: Widerstandsfähigkeit, Resilienz und Übergänge zu alternativen Zuständen. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), Artikel 20190112. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0112>

Bennett, E. M., Solan, M., Biggs, R., McPhearson, T., Norström, A. V., Olsson, P., Pereira, L., Peterson, G. D., Raudsepp-Hearne, C., Biermann, F., Carpenter, S. R., Ellis, E. C., Hichert, T., Galaz, V., Lahsen, M., Milkoreit, M., Folke, C., & Polasky, S. (2016). Bright spots: Seeds of a good Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(8), 441–448. <https://doi.org/10.1002/fee.1309>

Harrison, S. (2020). Die Vielfalt der Pflanzengemeinschaften wird unter den Bedingungen der Klimaerwärmung eher abnehmen als zunehmen. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), Artikel 20190106. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0106>





Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijikata, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S. I., Thomas, A., Warren, R. und Zhou, G. (2018). *Globale Erwärmung um 1,5 °C: Ein Sonderbericht des IPCC*. Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimawandel.

Iglesias, V., & Whitlock, C. (2020). Wenn die Bäume brennen, ist dann der Wald verloren? Die Dynamik vergangener Zeiten in gemäßigten Wäldern liefert wichtige Erkenntnisse für Bewirtschaftungsstrategien. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), Artikel 20190115. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0115>

Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., & Schellnhuber, H. J. (2019). Klimakipppunkte – Zu riskant, um dagegen zu wetten. *Nature*, 575(7784), 592–595. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>

Molotoks, A., Kuhnert, M., Dawson, T. P. und Smith, P. (2020). Vergleich der Auswirkungen der zukünftigen Ausweitung von Ackerflächen auf die globale Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), Artikel 20190189. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0189>

National Academy of Sciences. (2019). *Klimawandel und Ökosysteme*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25250>

Nicholls, R. J., Lowe, J. A., Brown, S., Gottschalk, J. & Hinkel, J. (2018). Stabilisierung der globalen Temperatur bei 1,5 °C und 2,0 °C: Auswirkungen auf Küstengebiete. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2119), Artikel 20160448. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0448>

Turner, M. G., Calder, W. J., Cumming, G. S., Hughes, T. P., Jentsch, A., LaDeau, S. L., Lenton, T. M., Shuman, B. N., Turetsky, M. R., Ratajczak, Z., Williams, J. W., & Carpenter, S. R. (2020). Klimawandel, Ökosysteme und abrupte Veränderungen: Wissenschaftliche Prioritäten. *Philosophical Transactions of the Royal Society B:*





Co-funded by
the European Union

Biological Sciences, 375(1794), Artikel 20190105.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0105>

Project Number: 2023-1-DE03-KA220-SCH-000126516

"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."





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: 2023-1-DE03-KA220-SCH-000126516

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.