



Co-funded by
the European Union

4 – „Transplantate“ im CRISPR-Bereich



BIO4YOU
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

INHALT

Inhalt

Einführung	3
Erkunden: Grundlagenwissen aufbauen	5
Umsetzen: CRISPR in Aktion erleben	6
Vertiefen: Verständnis und Reflexion vertiefen	7
Fazit:	8





Allgemeines Thema des Lernpfads	Biotechnologie und Genetik – Verständnis und Anwendung moderner Werkzeuge zur Genbearbeitung.
Spezifischer Name der Lerneinheit	<i>Genetische Transplantation mit CRISPR-Cas9: Korrektur der DNA durch molekulare Scheren</i>
Alter der Zielgruppe	14–18 Jahre
Voraussetzungen für die Lernenden	• Grundkenntnisse in Biologie (DNA, Zellen und Gene). • Interesse an Wissenschaft, Technologie und zukünftigen Innovationen. • Bereitschaft, digitale Tools wie Augmented Reality (AR) zu nutzen. • Fähigkeit, sowohl einzeln als auch in Gruppen zu arbeiten.
Beschreibung der Lerneinheit	Diese Einheit führt die Schüler in CRISPR-Cas9 ein, ein bahnbrechendes Werkzeug zur Genbearbeitung, das oft als molekulare Schere bezeichnet wird. Die Schüler beschäftigen sich zunächst mit den Grundlagen der DNA und genetischen Mutationen (Erkunden), erleben dann den Bearbeitungsprozess in einem virtuellen AR-Labor, in dem sie ein fehlerhaftes Gen korrigieren (Ausführen), und reflektieren schließlich über Anwendungen, ethische Implikationen und die Zukunft der Gentechnik, ergänzt durch spielerische AR-Bewertungen (Vertiefen).





Thema: Beteiligte Parteien	• Fächer: Biologie, Biotechnologie, Ethik und IKT/Digitale Kompetenz. • Beteiligte: Lehrer (Moderatoren), Schüler (aktive Lerner und Problemlöser), möglicherweise externe Experten (Biotechnologen, Ethiker)
Stichworte	CRISPR-Cas9, Genbearbeitung, DNA, Mutation, molekulare Schere, Biotechnologie, Augmented Reality, Ethik.
Wichtige Qualifikationen, Fähigkeiten und Kenntnisse, die erworben werden können	• Wissen: Struktur der DNA, Genmutationen, Prinzipien von CRISPR-Cas9, Anwendungen in Gesundheit und Landwirtschaft, ethische Debatten. • Fähigkeiten: Kritisches Denken, Teamarbeit, Versuchsplanung (virtuell), digitale Kompetenz, Einsatz von AR-Tools, wissenschaftliche Kommunikation. • Kompetenzen: Verständnis der Auswirkungen der Biotechnologie, Anwendung wissenschaftlicher Argumentation auf reale Probleme, Reflexion über ethische Konsequenzen der Genbearbeitung.
Verwendete Ressourcen und didaktische Hilfsmittel	AR-Anwendung zur Simulation eines virtuellen CRISPR-Labors. Digitale Laborjournale zur Aufzeichnung von Überlegungen und Daten. Visuelle Hilfsmittel (Videos, Diagramme zu DNA- und CRISPR-Mechanismen). Fallstudien (z. B. CRISPR in der Forschung zur Sichelzellenanämie). Gamification-Tools (Punkte, Abzeichen, Ranglisten).
• Bewertungskriterien und Bewertung	Wissen: Verständnis von DNA, Genmutationen und CRISPR-Prozessen. Praktische Fähigkeiten: Fähigkeit zur Durchführung von AR-Geneditierungsmissionen, Genauigkeit bei der „Reparatur“ von DNA. Engagement: Teilnahme an Gruppenaufgaben, AR-Aktivitäten und Diskussionen. Kreativität: Originelle Lösungen in AR-Quests, Fähigkeit, Wissenschaft mit ethischen Debatten zu verbinden. Reflexion: Kritische Analyse der Vorteile und Risiken von CRISPR.





Einleitung

Stellen Sie sich vor, Sie könnten einen Fehler im DNA-Code einer lebenden Zelle korrigieren, so wie Sie einen Rechtschreibfehler in einem Buch korrigieren würden, das Anweisungen für das Leben enthält. Dank CRISPR-Cas9, einem revolutionären Werkzeug zur Genbearbeitung, ist dies Wissenschaftlern nun möglich.

CRISPR wird als „molekulare Schere“ beschrieben (Doudna & Charpentier, 2014). Damit können Wissenschaftler DNA an präzisen Stellen schneiden und modifizieren, defekte Gene entfernen oder gesunde Gene einfügen. Diese Technologie wird bereits auf ihre mögliche Verwendung zur Korrektur genetischer Krankheiten, zur Verbesserung von Nutzpflanzen und sogar zur Bekämpfung von Viren untersucht.

Diese Unterrichtseinheit führt die Schüler anhand interaktiver und leicht verständlicher Erklärungen in die Grundlagen von DNA, Genen und CRISPR-Cas9 ein. Nach der Methodik „Erforschen – Ausführen – Verbessern“ entdecken die Schüler zunächst die wesentlichen Konzepte, experimentieren dann mit dem Prozess in einem virtuellen Augmented-Reality-Labor und reflektieren schließlich über die ethischen und sozialen Auswirkungen dieser neuen Biotechnologie.

Was ist CRISPR-Cas9 und warum ist es so wichtig?

CRISPR-Cas9 ist eine der bedeutendsten wissenschaftlichen Entdeckungen des 21. Jahrhunderts. Es handelt sich um ein Werkzeug zur Genbearbeitung, mit dem Wissenschaftler die DNA in lebenden Zellen mit unglaublicher Präzision verändern können. Manche bezeichnen es als „molekulare Schere“, da es DNA genau an der richtigen Stelle schneiden kann.

Das Wort **CRISPR** steht für: Clustered, Regularly, Interspaced, Short, Palindromic, Repeats (geclusterte, regelmäßig angeordnete, kurze, palindromische Wiederholungen).





CRISPR wurde ursprünglich als **natürliches Abwehrsystem in Bakterien** entdeckt. Wenn Viren Bakterien angreifen, können letztere Fragmente der Virus-DNA „speichern“ und sie in speziellen CRISPR-Sequenzen in ihrem eigenen Genom ablegen. Greift das Virus erneut an, produzieren die Bakterien ein spezielles RNA-gesteuertes Protein namens **Cas9**, das die DNA des Virus erkennt und zerschneidet, um es zu zerstören.

Wissenschaftler erkannten, dass sie **dieses System** so **umprogrammieren** konnten, dass es nicht nur Viren, sondern **jede beliebige DNA-Sequenz** angreifen konnte. So wurde CRISPR-Cas9 zu einem Werkzeug zur Veränderung der DNA von Pflanzen, Tieren und Menschen.

Um besser zu verstehen, was CRISPR-Cas9 ist, müssen wir wissen, dass selbst Bakterien, die kleinsten Lebewesen der Welt, untereinander kämpfen. Bakterien werden ständig von Viren angegriffen. Aber im Gegensatz zu uns haben sie keine Ärzte, Impfstoffe oder Medikamente. Stattdessen haben sie ihr eigenes intelligentes Abwehrsystem entwickelt, das letztlich die Zukunft der Medizin und der Humanwissenschaften verändern wird.

Wenn ein Virus eindringt, „merken“ sich die Bakterien dieses. Sie entnehmen ein Stück der DNA des Virus und speichern es in ihrem eigenen Genom in speziellen sich wiederholenden Sequenzen, die als CRISPR bezeichnet werden. Man kann sich das wie ein „Steckbrief“ vorstellen, der an der Wand des Sheriff-Büros hängt: Er dient als Erinnerung an den Feind, damit dieser sofort erkannt wird, wenn er zurückkehrt.

Das Cas9-Protein funktioniert wie eine scharfe molekulare Schere. Geleitet von einem kurzen RNA-Fragment (das wie ein GPS funktioniert), ist Cas9 in der Lage, die DNA des eindringenden Virus aufzuspüren und in Stücke zu schneiden. Sobald das Virus zerstört ist, überleben die Bakterien.

Wissenschaftler beobachteten diesen natürlichen Prozess und hatten eine revolutionäre Idee: Was wäre, wenn wir die Waffe der Bakterien nutzen könnten, um DNA zu schneiden, wo immer wir wollen? Wenn Cas9 zu viraler DNA geführt werden könnte, könnte es vielleicht auch zu menschlicher oder pflanzlicher DNA geführt werden. Und so wurde CRISPR-Cas9 nicht nur als





bakterielles Abwehrsystem, sondern auch als Werkzeug zur Genbearbeitung wiedergeboren.

Der Prozess ist überraschend einfach vorstellbar:

1. Zunächst entwirft ein Wissenschaftler eine **Leit-RNA**, ein kurzes Fragment des genetischen Codes, das mit der DNA-Sequenz übereinstimmt, die er bearbeiten möchte. Das ist so, als würde man die genaue Adresse in ein GPS eingeben.
2. Als Nächstes wird Cas9 mit dieser Leit-RNA gepaart und in die Zelle geschickt. Cas9 wirkt wie eine Schere und bewegt sich entlang der DNA, bis es die perfekte Übereinstimmung findet.
3. Wenn es sein Ziel erreicht hat, schneidet Cas9. An dieser Stelle ist die DNA gebrochen, wie eine aus einem Buch herausgerissene Seite.
4. Schließlich setzt das natürliche Reparatursystem der Zelle ein. Diese Reparatur kann so „ausgetrickst“ werden, dass sie den Bruch auf nützliche Weise korrigiert: entweder durch **Löschen** des defekten Gens oder durch **Einfügen einer korrekten Sequenz**.

Das Ergebnis? Ein Gen, das zuvor Probleme verursacht hat, kann nun korrigiert werden, so wie man einen Tippfehler in einer wichtigen Gebrauchsanweisung korrigieren würde.

Entdecken: Grundlagenwissen aufbauen

Um CRISPR zu verstehen, müssen die Schüler zunächst wissen, was DNA ist. DNA ist das Molekül des Lebens, das die genetischen Anweisungen enthält, die bestimmen, wie Lebewesen wachsen, funktionieren und sich fortpflanzen. Gene sind wie „Sätze“ in diesem Code, von denen jeder Anweisungen für ein bestimmtes Protein enthält.

Aber manchmal passieren Fehler. Ein fehlerhaftes Gen kann eine schwere Krankheit verursachen, wie z. B. Mukoviszidose oder Sichelzellenanämie. Seit Jahrzehnten träumen Wissenschaftler davon, diese Fehler direkt auf DNA-Ebene zu korrigieren.





CRISPR-Cas9 macht diesen Traum möglich. Es handelt sich um ein Werkzeug, das aus einem natürlichen Abwehrsystem von Bakterien adaptiert wurde, bei dem die CRISPR-Sequenz den Bakterien hilft, sich an Viren zu erinnern und diese zu bekämpfen. Wissenschaftler entdeckten, dass sie dieses System nutzen können, um die DNA genau an der gewünschten Stelle zu schneiden.

So funktioniert CRISPR:

Es wird eine Leit-RNA erstellt, die mit der zu verändernden DNA-Sequenz übereinstimmt. Das Cas9-Protein wirkt wie eine Schere und schneidet die DNA an dieser Stelle.

Die Zelle repariert die DNA auf natürliche Weise: Wissenschaftler können diese Reparatur steuern, um das Gen zu entfernen, zu ersetzen oder zu korrigieren.

Wichtige Fakten, die hervorzuheben sind:

Die Schüler müssen klar und anschaulich verstehen:

- Wie DNA aufgebaut ist.
- Wie CRISPR die richtige Stelle in der DNA „findet“.
- Was während des Schneide- und Reparaturprozesses geschieht.
- CRISPR ist schnell, präzise und relativ kostengünstig.
- Es wurde bereits an Pflanzen, Tieren und menschlichen Zellen getestet.
- Es gibt ethische Debatten über seine Verwendung, insbesondere beim Menschen.

Dies bereitet sie auf interaktive Augmented-Reality-Aktivitäten vor.

Ausführen: CRISPR in Aktion erleben

Programmumsetzung





Die Schüler werden virtuell in ein 3D-Augmented-Reality-Labor versetzt. Mit AR-Headsets oder AR-Apps auf Tablets/Smartphones betreten sie eine digitale Umgebung, in der DNA-Stränge vergrößert vor ihnen schweben.

Die AR-Anwendung führt die Schüler durch die folgenden Schritte:

Die Aufgabe: Korrigieren Sie ein defektes Gen in einer virtuellen Zelle mit CRISPR-Cas9.

1. Identifizieren Sie das defekte Gen: Scannen Sie einen DNA-Strang, um den Fehler zu lokalisieren.
2. Entwerfen Sie die Leit-RNA: Wählen Sie die Sequenz aus, die mit dem defekten Bereich übereinstimmt.
3. Cas9 aktivieren: Beobachten Sie, wie das Enzym die DNA genau an der gewünschten Stelle schneidet.
4. Reparieren Sie die DNA: Wählen Sie die richtige Ersatzsequenz aus und beobachten Sie, wie sich die Zelle selbst „repariert“.

Während der Übung erklärt das AR-System jeden Schritt in einfacher Sprache, unterstützt durch Animationen und interaktives Feedback.

Es können Beispiele aus anderen Schulen und Labors auf der ganzen Welt gezeigt werden: Genetikstudenten nutzen virtuelle Labors, um das Bearbeiten von DNA zu üben, bevor sie echte Experimente durchführen, wodurch Risiken und Kosten reduziert werden.

Die Leistung der Schüler wird im AR-Labor gemessen:

Haben sie die richtige Leit-RNA ausgewählt?

Haben sie das Gen erfolgreich korrigiert?

Wie viele Versuche waren dafür nötig?

Sie erhalten sofortiges digitales Feedback, was ihren Lernprozess verstärkt.

Verbessern: Vertiefung des Verständnisses und der Reflexion

AR-Integration

AR-Tools machen einen unsichtbaren Prozess sichtbar und greifbar: die mikroskopische Bearbeitung von DNA. Anstatt sich Moleküle vorzustellen,





können die Schüler DNA-Stränge in ihren Händen „halten“, sie vergrößern und in Echtzeit manipulieren. Dies **verbindet abstrakte Theorie mit konkreter** Erfahrung.

Interaktives Lernen

Die Schüler gehen über technische Fähigkeiten hinaus und erforschen:

- **Anwendungen:** Korrektur menschlicher Krankheiten, Verbesserung der Landwirtschaft, Entwicklung virusresistenter Nutzpflanzen.
- **Einschränkungen:** CRISPR ist leistungsstark, aber nicht perfekt: Es können Off-Target-Effekte auftreten.
- **Ethische Fragen:** Sollten wir menschliche Embryonen bearbeiten? Wo liegt die Grenze zwischen Therapie und Verbesserung?

Diskussionen und Debatten im Unterricht ermöglichen es den Schülern, Wissenschaft und Gesellschaft miteinander zu verbinden.

Gamifizierte Inhalte

Um den Lernprozess interessant zu gestalten, nutzt das AR-Labor Gamification:

- **Punkte und Abzeichen** für erfolgreiche genetische Bearbeitungen.
- **Ranglisten, die** den Fortschritt des Teams anzeigen.
- **Missionen und Levels**, in denen jede DNA-Bearbeitungsaufgabe ein neues Szenario freischaltet (z. B. Korrektur eines Pflanzengens, Korrektur eines Gens, das für eine Blutkrankheit verantwortlich ist).
- **Belohnungen für Erkundungen:** zusätzliche Punkte für das Testen innovativer Lösungen.
- **Kollaborative Aufgaben:** Gruppen arbeiten zusammen, um mehrere Gene in einem virtuellen Organismus zu bearbeiten.

Bewertungen in Augmented Reality

Die Bewertungen finden direkt in der Augmented Reality statt:

- Die Schüler erhalten ein defektes Gen, das sie erfolgreich modifizieren müssen.
- Sie erklären die von ihnen unternommenen Schritte und begründen ihre Entscheidungen.





- Das System zeichnet ihren Prozess für die Bewertung durch die Lehrkräfte auf.

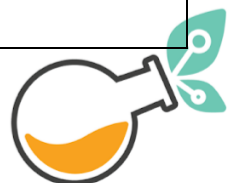
Dadurch wird sichergestellt, dass die Bewertung **auf Fähigkeiten** und nicht nur auf Wissen **basiert**.

Fazit:

Durch das Befolgen des Ansatzes „*Erforschen – Ausführen – Verbessern*“ erwerben die Schüler eine solide Grundlage in **Genetik und CRISPR-Cas9**, erleben den Bearbeitungsprozess in einer **sicheren virtuellen Umgebung** und reflektieren kritisch über das **Potenzial und die Risiken** der Genbearbeitung.

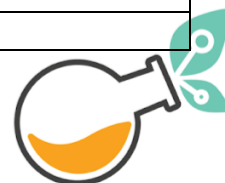
Die Mission, ein fehlerhaftes Gen zu korrigieren, wird zu einer Metapher für ihre Rolle als zukünftige Wissenschaftler und verantwortungsbewusste Bürger: Sie lernen nicht nur, wie man Technologie einsetzt, sondern auch, wie man über ihre Auswirkungen auf das Leben und die Gesellschaft nachdenkt.

Phase	Beschreibung
Erforschen	- Forschung und Entdeckung: Die Lernenden beginnen mit der Erforschung der Grundlagen von DNA und Genen . DNA wird als „Gebrauchsanweisung für das Leben“ erklärt, wobei Gene als spezifische Sätze fungieren, die für Proteine kodieren. Fehler in diesen Anweisungen können Krankheiten verursachen. CRISPR-Cas9 wird als revolutionäres Werkzeug vorgestellt, das in Bakterien entdeckt wurde und es Wissenschaftlern ermöglicht, DNA wie einen Tippfehler in einem Buch zu „schneiden und zu bearbeiten“. Die Schüler entdecken den natürlichen Ursprung von CRISPR als bakterielle Immunabwehr und erfahren, wie Wissenschaftler es für die Gentechnik angepasst haben. Fallstudien (z. B. die Verwendung von CRISPR zur Korrektur der Sichelzellenanämie) liefern konkrete Beispiele aus der Praxis.
	- Inhaltsentwicklung: • Was sind DNA und Gene? • Wie CRISPR-Cas9 Schritt für Schritt funktioniert (Guide-RNA, Cas9-Enzym, DNA-Reparatur). • Anwendungen in Medizin, Landwirtschaft und Naturschutz. • Ethische Debatten: Heilen vs. Verbessern, „Designer-Babys“, unbeabsichtigte Folgen.
	- Bedarfsanalyse: • Eine klare, visuelle Erklärung des CRISPR-Mechanismus. • Ein Verständnis dafür, warum Genbearbeitung für die menschliche Gesundheit und die Gesellschaft wichtig ist. • Eine sichere Möglichkeit, die DNA-Bearbeitung zu sehen und damit zu interagieren, die sie auf die AR-basierte Praxis vorbereitet.





Durchführung	- Umsetzung des Lehrplans: In dieser Phase gehen die Lernenden vom Wissen zur Praxis über. Durch ein Augmented-Reality-Labor werden die Schüler virtuell in eine 3D-Zelle versetzt. Sie sehen einen riesigen DNA-Strang, der im Raum schwebt, und ihre Aufgabe ist es, mit CRISPR-Cas9 ein fehlerhaftes Gen zu korrigieren.
	- Interaktive Übungen: Die AR-Erfahrung führt die Schüler durch die wichtigsten Schritte: 1. Identifizieren des fehlerhaften Gens – Scannen der DNA-Stränge, um die „Mutation“ zu lokalisieren. 2. Entwerfen einer Leit-RNA – Auswahl der richtigen Übereinstimmung für die Zielsequenz. 3. Cas9 aktivieren – beobachten, wie das Enzym die DNA an der exakten Stelle schneidet. 4. Reparieren der DNA – Einfügen einer korrigierten Sequenz und Beobachten, wie sich die Zelle selbst heilt. Die Schüler „arbeiten“ in Echtzeit mit digitaler DNA, wodurch der unsichtbare Prozess sichtbar und interaktiv wird.
	- Feedback-Sammlung: • Teamdiskussionen darüber, welche Krankheiten mit CRISPR behandelt werden könnten. • Vergleich zwischen traditioneller Züchtung oder Gentechnik und der Präzision von CRISPR. Lehrer können die Ergebnisse über die AR-Plattform überwachen, während die Schüler ihre Überlegungen in einem digitalen Laborjournal festhalten. Peer-Review ist enthalten: Die Gruppen tauschen Feedback zu Strategien und Herausforderungen aus.
Verbessern	- AR-Integration: Das AR-System gibt sofortiges Feedback: • Hat der Schüler die richtige Leit-RNA ausgewählt? Wurde die DNA an der richtigen Stelle geschnitten? War die Reparatur erfolgreich?
	- Interaktives Lernen: Hier wird AR zu einem Werkzeug für vertieftes Lernen. Die Schüler können 3D-DNA-Stränge manipulieren, Moleküle vergrößern und testen, was passiert, wenn Änderungen falsch sind. AR verbindet abstrakte Genetiktheorie mit greifbarer Praxis.
	Gamifizierte Inhalte: Punkte und Abzeichen: Über den technischen Prozess hinaus reflektieren die Lernenden über Anwendungen und Auswirkungen. Ranglisten: Verfolgen Sie den Fortschritt des Teams in AR-Missionen. Quests und Levels: Die Szenarien werden zunehmend schwieriger (Behebung einer einzelnen Mutation → Bearbeitung mehrerer Gene). Belohnungen für Erkundungen: zusätzliche Anerkennung für das Testen neuer Ansätze oder das Finden alternativer Lösungen. Kollaborative gamifizierte Aufgaben: Teams müssen zusammenarbeiten, um mehrere Gene in einem gemeinsamen „virtuellen Organismus“ zu bearbeiten.
	AR-basierte Bewertungen:





- Die Schüler erhalten fehlerhafte DNA und müssen diese korrekt bearbeiten.
- Sie erklären jeden Schritt (Design der Leit-RNA, Schnitt, Reparatur).
- Die Leistung wird nicht nur anhand der korrekten Ergebnisse gemessen, sondern auch anhand der Argumentation, der Teamarbeit und der Kreativität.

Die Lehrkräfte verwenden AR-Datenprotokolle und Reflexionsjournale, um Wissen, Fähigkeiten und kritisches Denken zu bewerten.

Referenzen

Britannica. (2023). CRISPR-Cas9-Gentechnik. Abgerufen von <https://www.britannica.com>

Wikipedia. (2023). CRISPR-Geneditierung. Abgerufen unter https://en.wikipedia.org/wiki/CRISPR_gene_editing

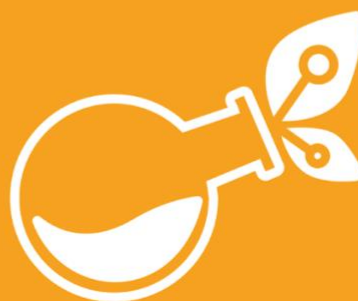
Ecolife Conservation. (2017). Einführung in die Gentechnik und Biotechnologie (Lehrbuch).

National Agricultural Library (USDA). (2022). CRISPR und Biotechnologie-Ressourcen.





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.