



Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES  
LANDESINSTITUT

# BIOWISSENSCHAFTEN UND GESELLSCHAFT

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Biologie – Themenfeld 11



In den PL-Informationen werden Ergebnisse veröffentlicht, die von Lehrerinnen und Lehrern aller Schularten unter Einbeziehung weiterer Experten erarbeitet und auf der Grundlage der aktuellen pädagogischen oder fachdidaktischen Diskussion für den Unterricht oder die Schulentwicklung aufbereitet wurden. Mit ihnen werden Anregungen gegeben, wie Schulen bildungspolitische Vorgaben und aktuelle Entwicklungen umsetzen können.

Die PL-Informationen erscheinen unregelmäßig. Unser Materialangebot finden Sie im Internet auf dem Landesbildungsserver unter folgender Adresse:

<https://pl.bildung-rp.de/publikationen>

Die vorliegende Veröffentlichung wird gegen eine Schutzgebühr von 6,00 Euro zzgl. Versandkosten abgegeben. Bestellungen richten Sie bitte an das Pädagogische Landesinstitut:

[bestellung@pl.rlp.de](mailto:bestellung@pl.rlp.de)

---

# IMPRESSUM

## **Herausgeber:**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz  
Standort Bad Kreuznach  
Röntgenstraße 32  
55543 Bad Kreuznach  
[pl@pl.rlp.de](mailto:pl@pl.rlp.de)

## **Redaktion:**

Dr. Stefanie Böhm, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Skriptbearbeitung:**

Ute Nagelschmitt, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Titelbild:**

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: August 2022

ISSN 2190-9148



Soweit nicht anders gekennzeichnet, ist die Weiternutzung als OER ausdrücklich erlaubt:  
Dieses Werk und dessen Inhalte sind - sofern nicht anders angegeben – lizenziert unter CC BY 4.0. „Biolwissenschaften und Gesellschaft“ von Pädagogisches Landesinstitut,  
Lizenz: CC BY 4.0.

Der Lizenzvertrag ist hier abrufbar: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

# INHALT

<b>1</b>	<b>Themenfeld 11: Biowissenschaften und Gesellschaft</b>	<b>3</b>
1.1	Vorüberlegungen	3
1.2	Die Themenfeld-Doppelseite	4
1.3	Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung	6
<b>2</b>	<b>Exemplarische Reihenplanungen</b>	<b>15</b>
2.1	Übersicht über die Themenbereiche und Kontexte	15
2.2	Kompetenzorientierung	19
<b>3</b>	<b>Exemplarische Unterrichtsmaterialien</b>	<b>20</b>
3.1	Kontext 1: Corona – Die Welle brechen	20
3.2	Kontext 2: Reproduktionsmedizin	26
3.3	Kontext 3: Biowissenschaften und nachhaltige Entwicklung	34
3.4	Kontext 4: Von der Antibiotikaresistenz zur Genschere	42
<b>4</b>	<b>Methodenkoffer</b>	<b>49</b>
4.1	Mobiles Genlabor	49
4.2	Sequenzierung	50
4.3	PCR und genetischer Fingerabdruck	53
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>55</b>
	<b>Autorinnen und Autoren</b>	<b>56</b>





# 1 THEMENFELD 11: BIOWISSENSCHAFTEN UND GESELLSCHAFT

## 1.1 Vorüberlegungen

Der neue Lehrplan im Fach Biologie für die Klassen 7 bis 9/10 der weiterführenden Schulen des Landes Rheinland-Pfalz schließt konzeptionell an den Lehrplan des Faches Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe an.

Die drei Säulen des naturwissenschaftlichen Unterrichts Kompetenzen, Basiskonzepte und Kontexte bilden auch die Stützpfeiler des Biologieunterrichts und erfordern eine darauf aufbauende unterrichtliche Umsetzung.

In dieser Handreichung geht es um die Ausgestaltung des Unterrichts zum Themenfeld 11 „Biowissenschaften und Gesellschaft“. Dazu wird zunächst die Themenfeld-Doppelseite vorgestellt.

Die Leitfragen lauten: Was ist die Intention des Themenfeldes (TF)? Welche Stellung hat das Themenfeld im Gesamtlehrplan? Wie kann das Themenfeld entsprechend der Lehrplananforderungen konkret im Unterricht umgesetzt werden?

Da aus ökologischen und ökonomischen Gründen nur ein kleiner Teil der Materialien abgedruckt wird, stehen die gesamte Handreichung sowie die hier vorgestellten Materialien mit möglichen Lösungen auf folgenden Seiten online zur Verfügung:

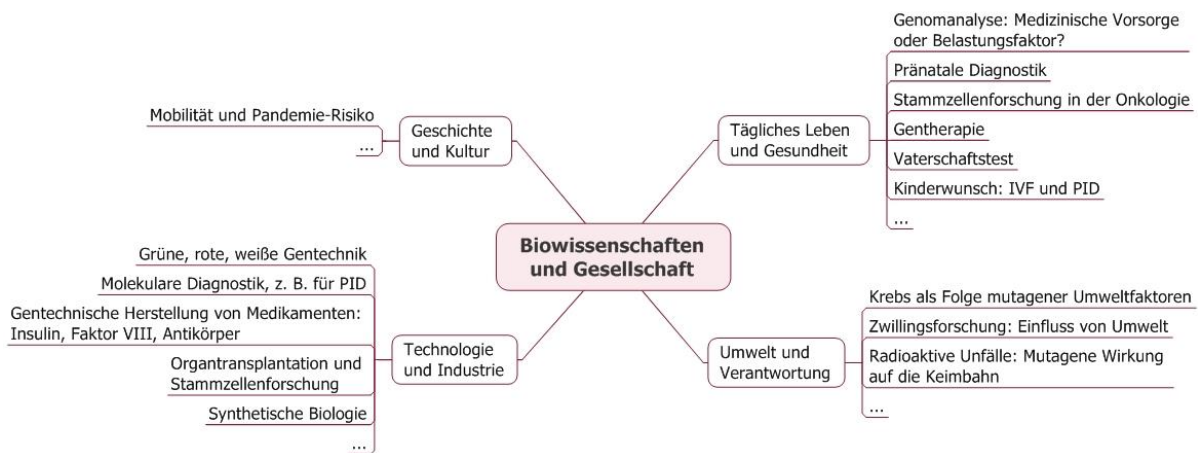
Bildungsserver: <https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/faecher/biologie/unterricht.html>

Mediathek des Schulcampus: <https://www.schulcampus-rlp.de/dashboard>

## 1.2 Die Themenfeld-Doppelseite

<b>TF 11: Biowissenschaften und Gesellschaft</b>	
<p>Die Schülerinnen und Schüler stellen fest, dass die biowissenschaftliche Forschung sich mit großer Dynamik entwickelt, welche zu einer Differenz zwischen dem Wissen der Experten auf der einen und des einzelnen Bürgers auf der anderen Seite führt. Es werden biotechnologische Verfahren oder Produkte angeboten oder kontrovers diskutiert.</p> <p>Die pädagogische Absicht ist es, die wissenschaftlichen Grundlagen zu vermitteln, die für eine objektivere Beurteilung nötig sind. Der Unterricht bietet Raum, einen Überblick über die Forschungsbereiche der Biowissenschaften zu schaffen und Berufsfelder kennenzulernen, in denen Biowissenschaften eine Rolle spielen.</p> <p>Aus der Vielzahl von Möglichkeiten, z. B. Gentechnik, Gentherapie und Gendiagnostik, werden diejenigen ausgewählt, welche Aktualität, gesellschaftliche Relevanz und das Interesse der Schülerinnen und Schüler berücksichtigen. In Abgrenzung zum Oberstufenunterricht liegt der Schwerpunkt auf einem Grundverständnis und dem Überblick über biotechnologische Methoden, z. B. Isolierung und Vervielfältigung von DNA, nicht aber auf der Vertiefung molekularbiologischer Einzelheiten. Die in TF 10 erworbenen Grundlagen können hier geübt und vernetzt werden.</p>	
<p><b>Kompetenzen:</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nutzen einschlägige Fachbegriffe zur gezielten Recherche,</li> <li>• stellen Rechercheergebnisse einem Publikum adressatengerecht und in strukturierter sprachlicher Darstellung vor,</li> <li>• argumentieren zu Chancen und Risiken biotechnologischer Anwendungen, z. B. Reproduktionsmedizin, Gentechnik, Gendiagnostik,</li> <li>• wenden biologisches Fachwissen an, um Technologien zu erklären oder zu beurteilen.</li> </ul>	
<p><b>Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:</b></p> <p><i>Entwicklung</i> Gentechnik lässt sich als gesteuerte Mutation interpretieren. Biotechnologische Verfahren greifen in die Evolution ein.</p> <p><i>Struktur-Eigenschaft-Funktion</i> Die DNA ist Träger der genetischen Information, die durch die Basenfolge codiert ist. Wird die Basenfolge verändert, verändern sich bestimmte Eigenschaften im Organismus. Der genetische Code ist universell. Gene lassen sich durch Marker identifizieren, die sich gemäß dem Schlüssel-Schloss-Prinzip an die DNA binden.</p>	<p><b>Fachbegriffe:</b></p> <p>z. B. Reproduktionsmedizin genetischer Fingerabdruck weiße/rote/grüne Biotechnologie Gentechnik Gentherapie synthetische Biologie Individualmedizin horizontaler Gentransfer Biodiversitätsforschung</p>

**Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:**



**Differenzierungsmöglichkeiten:**

Die Themenauswahl orientiert sich an aktuellen gesellschaftsrelevanten Diskussionen und Problemen. Die inhaltliche Offenheit des Themenfeldes wird genutzt, um Interessen der Lerngruppe in die Planung des Unterrichtes einzubeziehen. Hier können Fachinhalte aus anderen Themenfeldern neu aufgelegt oder vertieft werden. Das Themenfeld ist besonders geeignet, Problemlösekompetenz zu entwickeln. Dazu werden Fachinhalte in problemorientierte Unterrichtsvorhaben eingebettet.

Eine Steigerung des Anforderungsniveaus im Bereich der Kommunikationskompetenz kann erreicht werden, indem Unterrichtsergebnisse veröffentlicht und einem breiteren Publikum zugänglich gemacht werden

**Bezüge:**

**NaWi**

TF 4 Züchtung  
TF 6 Technische Entwicklung

**Biologie**

TF 9 Viren  
TF 10 Reproduktion, DNA  
TF 12 gesellschaftliche Veränderung

**Chemie**

Je nach Kontext:  
TF 7 Makromoleküle  
TF 9 Nachweisgrenzen, Grenzwerte, Analysemethoden  
TF 10 Mutagene, Umwelttoxine

**Physik**

–

Abb. 1: Themenfeld-Doppelseite des Themenfeldes 11, Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Biologie“, S. 44-45

### 1.3 Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung

Das Themenfeld 11 wird, wie jedes Themenfeld des Lehrplanes, in Form einer Themenfeld-Doppelseite dargestellt. In den einzelnen Rubriken finden sich neben den verbindlichen auch fakultative Elemente.

Themenfeld-Titel		Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung
Intention		
Kompetenzen		Differenzierungsmöglichkeit
Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte	Fachbegriffe	Bezüge

#### Intention

Die Intention des Themenfeldes bildet den ersten Abschnitt der Themenfeld-Doppelseite, gibt Aufschluss über die Bildungsabsicht und berücksichtigt pädagogische, didaktische und methodische Aspekte. Die Intention ist ein verbindlicher Teil des Themenfeldes.

Demokratische Entscheidungsprozesse beruhen auf vergleichbaren Wertvorstellungen und Faktenkenntnissen. Im Themenfeld „Biowissenschaften und Gesellschaft“ soll das Verständnis der wissenschaftlichen Denkweise und der technischen Anwendungen vermittelt werden. Es mangelt nicht an Publikationen, die über moderne Biowissenschaften informieren. Die Schülerinnen und Schüler nutzen die professionelle Wissenschaftskommunikation in verschiedenen Medien. Das im Laufe der Sekundarstufe erworbene Wissen wird dabei in aktuelle Bezüge gebracht. Die pädagogische Zielsetzung ist die Teilhabe am demokratischen Diskurs auf der Basis naturwissenschaftlich überprüfter oder überprüfbarer Fakten als mündige Bürgerinnen und Bürger und aufgeklärte Verbraucherinnen und Verbraucher.

Die Fachinhalte des Themenfeldes sind aufgrund der übergeordneten Zielsetzung des Themenfeldes variabel. Je nach Schwerpunktsetzung wird Fachwissen vernetzt und ggf. vertieft und mit Metawissen aus anderen Bereichen ergänzt. Das Themenfeld 11 ist didaktisch so konzipiert, dass Zusammenhänge zu den Themenfeldern 1-10 deutlich werden.

Der Unterricht wird exemplarisch folgendes vermitteln:

- Kenntnis und Grundverständnis biowissenschaftlicher Methoden oder Werkzeuge im Bereich der Molekulargenetik und Cytogenetik.
- Überblick über Problemfelder, in denen Biowissenschaften nach Antworten suchen, insbesondere grüne, rote und weiße Gentechnik im Bereich Umwelt und Gesundheit.
- Überblick über ethisch relevante Anwendungen im Bereich der Reproduktionsbiologie, z. B. Präimplantationsdiagnostik (PID), Klonen, Rekonstruktion ausgestorbener Lebewesen durch Gentransfer in rezente Arten u. a.
- Wissen über Meinungsvielfalt und Abwägung von Pro- und Kontra-Argumenten an mindestens einem ausgewählten Beispiel.
- Wissen über demokratische Strukturen wie z. B. Gesetze, Rechtsprechung und ausführende Behörden, die den Rahmen für biowissenschaftliche Forschung oder Anwendung biowissenschaftlicher Erkenntnisse bilden. Beispiele wären PID und Embryonenschutzgesetz, Einsatz gentechnischer Produkte, Zulassung biotechnologischer oder medizinischer Verfahren, Zulassung von Medikamenten oder Impfstoffen.





Abb. 2: Intention des Themenfeldes 11 (SDG © Vereinte Nationen)

Die globalen Ziele der Vereinten Nationen (englisch: United Nations, UN) für nachhaltige Entwicklung zeigen Bereiche, in denen Biowissenschaften einen Beitrag leisten. Ein Hauptanliegen des Themenfeldes ist das Verständnis cyto-genetischer und molekulargenetischer Techniken.

Am Ende des Themenfeldes 11 können Schülerinnen und Schüler folgende Zusammenhänge verstehen: Jedes Lebewesen ist einzigartig aufgrund seines Genoms, das ist die Gesamtheit der Gene in jedem Zellkern. Ursache für die Individualität ist die Neukombination von Genen bei der Reproduktion, also bei der Keimzellbildung und Befruchtung (Themenfeld 10: Individualität).

Gene sind Abschnitte auf der DNA, die für die Bildung von Eiweißen codieren. Die Eiweiße erfüllen wichtige Funktionen im Stoffwechsel als Enzyme, Rezeptoren, Transportmoleküle, Botenstoffe, Antikörper oder Gerüststoffe. Um ihre Funktion zu erfüllen, müssen die Eiweiße eine genau festgelegte Raumstruktur haben. Die Bauanleitung für die Raumstruktur eines Proteins ist in der DNA im Zellkern oder im Plasmid codiert. Gelangt ein Signal an die DNA, kann der genetische Code auf der DNA abgelesen und in Proteine übersetzt werden („Genaktivierung“). Umgekehrt ist es möglich, dass die Proteinbiosynthese durch die Blockade eines Genabschnittes gestoppt wird („Stummschaltung“). Die Genaktivität kann also geregelt werden. Die differenzierte Genaktivität (oder Genregulation) ist der Grund dafür, dass z. B. die Zellen in der Bauchspeicheldrüse Insulin produzieren können, die Zellen des Magens dagegen nicht, obwohl in den Zellkernen beider Organe das gesamte Genom (für den Bauplan des ganzen Menschen mit all seinen Organen) gespeichert ist.

Die Struktur der DNA kann durch energiereiche Strahlung oder durch chemische Stoffe zerstört oder verändert werden. Wenn die Basenabfolge der DNA verändert wird, verändert sich damit der genetische Code (Genmutation). Mutationen im Bereich codierender Gene bewirken Veränderungen von Eiweißen, so dass Zellen bestimmte Aufgaben in einem Organ oder im gesamten Organismus nicht mehr erfüllen können. So lassen sich Erbkrankheiten oder die Entstehung von Tumoren erklären.

Nicht in allen Fällen sind Genmutationen ein Nachteil für Lebewesen bzw. für Populationen. Im Laufe der Evolution gab und gibt es zahlreiche Mutationen, die eine positive Selektion zur Folge hatten. Mutationen sind die Ursache für Artenvielfalt und Diversität. In Ökosystemen erfüllen verschiedene Arten unterschiedliche Funktionen (Themenfeld 1: Vielfalt, Themenfeld 5: Ökosysteme im Wandel). Die Vielfalt der Lebewesen und ihre Angepasstheit an abiotische und biotische Faktoren entwickelte sich im Laufe der Evolution durch Mutation, Selektion und Reproduktion (Themenfeld 2: Vielfalt und Veränderung).

Das Wissen über genetische Zusammenhänge und die „Erfindung“ von Werkzeugen ermöglichen es dem Menschen, natürliche Prozesse nachzuahmen oder in natürliche Prozesse einzugreifen.

In verschiedenen Kontexten lernen Schülerinnen und Schüler im Themenfeld 11 folgende biowissenschaftlichen Methoden kennen:

- IVF (In-vitro-Fertilisation) bei Kinderwunsch oder in der Tiermedizin)
- PID (Präimplantationsdiagnostik bei Chromosomenanomalien oder vererbaren Genmutationen, z. B. Trisomien oder Muskeldystrophie)
- Genomsequenzierung (z. B. bei der somatischen Gentherapie oder der Variantenerkennung des Corona-Virus, dem Auffinden der Gene für bestimmte Eigenschaften bei der Pflanzenzucht)
- PCR (Vervielfältigung von DNA in verschiedenen Zusammenhängen, z. B. Corona-Test, Verwandtschaftstest, somatische Gentherapie oder gentechnische Pflanzenzucht)
- CRISPR-Technik (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, gezieltes Ausschneiden oder Einsetzen von Genen mittels CRISPR/Cas-System, z. B. bei der somatischen Gentherapie oder bei der Pflanzenzucht)

Das Grundverständnis der Cyto- und Molekulargenetik erlaubt den Schülerinnen und Schüler die Teilhabe am öffentlichen Diskurs über Reproduktionsmedizin oder über den Einsatz von Gentechnik in der Medizin sowie Tier- und Pflanzenzucht. Der Unterricht zeigt exemplarisch den Prozess einer systematischen Bewertung (Sachwissen erwerben – Argumente aus verschiedenen Perspektiven kennen – Entscheidungsoptionen und deren Folgen reflektieren).

## Kompetenzen

In der Rubrik „Kompetenzen“ werden konkrete Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler an (zum Teil alternativ wählbare) Fachinhalte gekoppelt. Diese sind verbindlich und ermöglichen eine gezielte Kompetenzentwicklung der Schülerinnen und Schüler.

Um cytogenetische und molekulargenetische Fragen zu beantworten, werden Modelle und Schemazeichnungen gebraucht. Die Modelle dienen sowohl der **Erkenntnisgewinnung** als auch als **Kommunikationsmittel**. Der Unterricht ist so angelegt, dass kooperative Arbeitsformen eingesetzt werden. Der Wissenserwerb erfolgt arbeitsteilig. Mit geeigneten Medien und Präsentationsmöglichkeiten wird das individuell erworbene Wissen zusammengeführt. Dabei kann geeignete Präsentations- und Konferenzsoftware angewendet werden.

Ein besonderes Augenmerk wird auf Entwicklung von **Bewertungskompetenz** gelegt, indem zuvor erworbenes Fachwissen zur Beurteilung und Bewertung ethisch oder ökologisch relevanter Problemstellungen herangezogen wird.

Im Themenfeld 11 finden, je nach Wahl der Kontexte, die zuvor in den Themenfeldern 1-10 erworbenen Kompetenzen eine umfassende Anwendung.

Die Schülerinnen und Schüler können ...		TF 11	Schülerinnen und Schüler ...
... naturwissenschaftliche Konzepte zur Problemlösung nutzen.	Umgang mit Fachwissen	■	... nutzen einschlägige Fachbegriffe zur gezielten Recherche.
... mit Geräten, Stoffen, Verfahren umgehen.			
... Fachwissen strukturieren und Erklärungszusammenhänge herstellen.		■	
... naturwissenschaftlich untersuchen, experimentieren.	Erkenntnisgewinnung		... stellen Rechercheergebnisse einem Publikum adressatengerecht und in strukturierter sprachlicher Darstellung vor.
... modellieren.			
... naturwissenschaftliche Erkenntnisse bzw. den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess reflektieren.		■	
... Informationen sachgerecht entnehmen.	Kommunikation	■	... argumentieren zu Chancen und Risiken biotechnologischer Anwendungen, z. B. Reproduktionsmedizin, Gentechnik, Gendiagnostik.
... sach- und adressatengerecht präsentieren und dokumentieren.		■	
... naturwissenschaftlich argumentieren und diskutieren.		■	
... Bewertungskriterien festlegen und anwenden.	Bewertung	■	... wenden biologisches Fachwissen an, um Technologien zu erklären oder zu beurteilen.
... Handlungsoptionen erkennen und aufzeigen.			
... Sachverhalte naturwissenschaftlich einordnen und (multiperspektivisch) bewerten.		■	

Abb. 3: Zuordnung der Kompetenzen zu den Kompetenzbereichen

### Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe

Die beiden Rubriken „Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte“ und „Fachbegriffe“ geben verbindliche Hinweise darauf, mit welcher Schwerpunktsetzung die Fachinhalte unterrichtet werden sollen, um das angestrebte Konzeptverständnis zu erreichen und welche Fachbegriffe von den Schülerinnen und Schülern im Unterricht benutzt werden. Eine Überfrachtung des Unterrichts mit Begriffen, die der reinen Beschreibung von Phänomen dienen und weder zur pädagogischen Absicht noch zum Aufbau von Konzepten gebraucht werden, ist dringend zu vermeiden.

Fachwissen wird im neuen Lehrplan nicht losgelöst betrachtet, sondern ist in Basiskonzepten (Abb. 4) und Kontexte eingebunden, um den Schülerinnen und Schülern über die Jahre hinweg einen systematischen Aufbau biologischer Konzepte zu ermöglichen.

Basiskonzept System	Themenfelder											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Teilkonzept</b> Systeme bestehen aus Elementen, die untereinander Materie, Energie bzw. Informationen austauschen und in ihrem Zusammenwirken als Einheit betrachtet werden können.	x		x	x	x	x	x	x	x		x	
<b>Konkretisierung in der Biologie</b> Leben ist auf verschiedenen Systemebenen (Organismen, Organe, Zellen und Ökosysteme) organisiert. Lebewesen besitzen Funktionseinheiten, zwischen denen Materie, Energie und Informationen ausgetauscht werden. Das kleinste Kompartiment, das alle Kennzeichen des Lebendigen trägt, ist die Zelle. <b>TF 11:</b> Biosphäre als System												
Basiskonzept Teilchen-Materie/Stoff	Themenfelder											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Teilkonzept</b> Materie/Stoffe bestehen aus Teilchen, die sich bewegen und miteinander wechselwirken.			x	x			x		x	x	x	
<b>Teilkonzept</b> Durch die unterschiedliche Kombination von Teilchen, ihre Anordnung und die Wechselwirkungen zwischen ihnen ergibt sich die Vielfalt der Stoffe.			x	x					x		x	
<b>Konkretisierung in der Biologie</b> Stoffwechselreaktionen werden durch Wechselwirkung zwischen Eiweißen und deren Substraten gesteuert. <b>TF 10 und 11:</b> Eiweiße sind Funktionsmoleküle, die mit ihren Substraten über das Schlüssel-Schloss-Prinzip in Wechselwirkung treten können: DNA-Replikation und Proteinbiosynthese. Lebewesen bestehen aus verschiedenen Stoffen, die das Element Kohlenstoff enthalten. Aus den Elementen COHNSP wird Biomasse aufgebaut. Die Anordnung von Molekülbausteinen in Proteinen oder Nucleinsäuren bestimmt deren Funktionen. <b>TF 10 und 11:</b> Die Aminosäuresequenz bestimmt Struktur und Funktion eines Eiweißes. Die Nucleotidsequenz bestimmt die Aminosäuresequenz.												

Basiskonzept Chemische Reaktion	Themenfelder											
<b>Teilkonzept</b> Chemische Reaktionen werden mit Reaktionsgleichungen beschrieben.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			x	x	x			x	x	x	x	
<b>Teilkonzept</b> Chemische Reaktionen werden durch Variation der Reaktionsbedingungen gesteuert.				x	x				x		x	
<b>Konkretisierung in der Biologie</b> Reaktionsschemata erlauben Bilanzierungen. Kohlenstoffverbindungen lassen sich durch verschiedene Formeln und Symbole beschreiben. Die Symbolik dient der Erklärung von Stoffwechselreaktionen. <b>TF 10 und 11:</b> Der Aufbau der DNA und der Aufbau von Eiweißen lässt sich mit Symbolen beschreiben. In Ökosystemen, Organismen oder Zellen finden je nach Umweltfaktoren andere Stoffwechselreaktionen statt. <b>TF 11:</b> Enzyme steuern Stoffwechselreaktionen.												
Basiskonzept Struktur-Eigenschaft-Funktion	Themenfelder											
<b>Teilkonzept</b> Die Struktur bestimmt die Funktion.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			x	x			x	x	x	x	x	
<b>Teilkonzept</b> Die Struktur bestimmt die Eigenschaft von Stoffen.											x	
<b>Konkretisierung in der Biologie</b> An eine Funktion angepasste Strukturen finden sich auf der Ebene von Organen, Zellen und Molekülen. Lebenswichtige Funktionen sind unter anderem der Austausch von Stoffen, Energie und Informationen mit der Umgebung. <b>TF 10 und 11:</b> Komplementäre Basenpaare bilden die molekularen Funktionseinheiten für die Replikationsfunktion und auch für die Übersetzungsfunktion (Transkription und Translation) der DNA (Molekulare Ebene). Strukturveränderung der DNA führt zur Veränderung der genetischen Information (Mutation). Differenzierung: Strukturveränderung der DNA führt zu veränderter Proteinstruktur mit Auswirkungen für deren Funktionsfähigkeit.												
Basiskonzept Entwicklung	Themenfelder											
<b>Teilkonzept</b> Entwicklung ist an Vielfalt, Selektion und Vervielfältigung gebunden.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	x	x			x						x	
<b>Teilkonzept</b> Die Veränderbarkeit von Strukturen ist Voraussetzung für Vielfalt.						x					x	
<b>Konkretisierung in der Biologie</b> Voraussetzung für die Evolution ist die Variabilität von Lebewesen. Selektionsfaktoren beeinflussen die Fitness von Lebewesen. Die besser angepassten Lebewesen haben den größeren Fortpflanzungserfolg. <b>TF 11:</b> Reproduktionsmedizin beeinflusst Entwicklung. Veränderung entsteht durch Mutation oder Neukombination von Erbanlagen. Dies ist Voraussetzung für Individualität und Vielfalt innerhalb von Populationen. <b>TF 11:</b> Veränderungen von Lebewesen lassen sich gentechnisch herbeiführen.												

Abb. 4.: Entwicklung der Basiskonzepte in den Themenfeldern des Lehrplans Biologie



Ziel des Themenfeldes ist die Auseinandersetzung mit gesellschaftlich und politisch relevanten Themen. Im Anschluss an Themenfeld 10 sind die Schülerinnen und Schüler in der Lage, die **Systemebenen** zu wechseln und Phänomene auf der organismischen, zellulären und molekularen Ebene zu beschreiben und zu erklären.

Labortechnische Verfahren für Zellbiologie und Molekularbiologie werden kennengelernt, der Zusammenhang von **Struktur – Eigenschaft – Funktion** für deren Verständnis wird deutlich. Im Mittelpunkt stehen molekulare Strukturen, DNA oder RNA und Proteine. Sie werden dabei in ihrer Funktion als Informationsträger erkannt und tragen zur Erweiterung des Informationskonzeptes bei.

In diesem Themenfeld erweitern die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellungen zum **Entwicklungs-konzept**. Am Beispiel der IVF (In-vitro-Fertilisation) wird Wissen über die menschliche Ontogenese auf cytologischer Ebene erworben. Die Reproduktion von Viren oder Phagen und Pflanzenzellen wird in verschiedenen Kontexten auf molekularer Ebene kennengelernt, z. B. Phagentherapie, Corona-Pandemie, grüne Gentechnik. Im Themenfeld 2 „Vielfalt und Veränderung“ wurde die Diversität als Grundvoraussetzung der Evolution kennengelernt. Indem der Mensch Pflanzen und Tiere züchtet, nutzt er natürliche Diversität und wird selbst zum Selektionsfaktor. Menschen werden durch kulturelle Leistungen fähig, die natürliche Selektion bzw. Evolution zu beeinflussen. Durch Genscheren wie CRISPR/Cas kann der Prozess noch einmal beschleunigt werden. Dies bringt Chancen für die globale Ernährung und für medizinischen Fortschritt. Andererseits birgt der Eingriff in die Keimbahn von Organismen Risiken, deren Folgen nicht in Gänze erfasst werden können und die ethisch nicht vertretbar sind.

In Abgrenzung zum Themenfeld 12 wird hier der Schwerpunkt auf das Verständnis moderner Züchtungsmethoden gesetzt. Dagegen widmet sich Themenfeld 12 dem „Anthropozän“ mit der Frage nach den evolutionären Wurzeln des menschlichen Verhaltens und wie menschliches Handeln das gesamte Leben auf der Erde beeinflusst.

### **Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung**

Im Mittelpunkt des Unterrichts steht ein lebensweltlicher Kontext. Ziel ist es, die Lebenswelt unter Einbezug von Fachwissen differenzierter zu betrachten und somit zur Bildung mündiger Bürgerinnen und Bürger und aufgeklärter Verbraucherinnen und Verbraucher beizutragen.

Kontextorientierter Unterricht löst die Fachsystematik auf. Vielmehr zielen die Auswahl eines Kontextes und das damit verbundene Fachwissen auf die Weiterentwicklung der Basiskonzepte (siehe Kapitel 2 „Exemplarische Reihenplanungen“).

Möglichkeiten für Kontexte im Themenfeld 11 „Biowissenschaften und Gesellschaft“ sind vielfältig. Geeignete Themen werden innerhalb der Themenfeld-Doppelseite als Mindmap dargestellt. Die Mindmap regt zur Ideenfindung an und kann ergänzt werden. Lebensweltliche Bezüge können in einer Reihenplanung als Kontext, z. B. „Corona – die Welle brechen“ oder als Einzelaspekte in Form von Unterrichtsaktivitäten, z. B. „Die Global Goals der UN“ oder Aufgaben, z. B. „PCR-Test“ in den Unterricht einfließen.

## Differenzierungsmöglichkeiten

Das Themenfeld 11 soll die Schülerinnen und Schüler befähigen, am gesellschaftlichen Diskurs teilzunehmen und wissensbasierte Argumente zu verstehen und zu finden. Aktuelle Themen werden im Unterricht aufgegriffen, z. B. der Einsatz von Gentechnik, die Dialektik reproduktionsmedizinischer Fragen, der Diskurs über die allgemeine Impfpflicht, die Beurteilung von Maßnahmen zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele usw.

Die Beschäftigung mit den aktuellen Themen unterliegt keiner weiteren Differenzierung und gehört zum Bildungsauftrag. Die Aufgabenstellungen sind offen und lassen Lösungen bzw. Bearbeitungstiefe auf mehreren Niveaustufen zu.

Je nach Interesse und Leistungsfähigkeit einer Schülerin oder eines Schülers können molekulare oder zelluläre Modelle vertieft oder Kontexte erweitert werden. An G8GTS-Gymnasien kann das Themenfeld 11 vollständig in den MSS-Lehrplan integriert werden.

## Bezüge

Hier werden direkte Verbindungen zu anderen Themenfeldern sowohl des jeweiligen Faches, den anderen naturwissenschaftlichen Fächern sowie zum Rahmenlehrplan der Orientierungsstufe aufgezeigt. Die Vernetzungen sind wichtig, um den kumulativen Aufbau von Basiskonzepten und die kontinuierliche Kompetenzentwicklung zu ermöglichen. Dies gilt nicht nur für die innerfachliche Vernetzung, sondern auch für die lernwirksame Verbindung der Fächer. Vertiefungen und Konkretisierungen erfolgen im Sinne eines Spiralcurriculums im weiteren Verlauf des Biologieunterrichts.

Aus dem Unterricht der Orientierungsstufe sollten in Themenfeld 4 „Pflanzen, Tiere, Lebensräume“ Grundlagen im Bereich der Züchtung und Entwicklung gelegt sein und in Biologie im Rahmen des Themenfeldes 2 „Vielfalt und Veränderung“ auch auf Variabilität und Mutation eingegangen worden sein. Bezugnehmend auf Infektionskrankheiten sollte in Themenfeld 9 „Krankheitserreger erkennen und abwehren“ eine Grundlage für das Verständnis von Pandemien und deren Bekämpfung sowie deren gesellschaftlicher Relevanz geschaffen worden sein.

Im Themenfeld 11 werden die Grundlagen für das anschließende Themenfeld 12 „Biologische Anthropologie“ geschaffen.

Zum Fach Chemie in der Mittelstufe finden sich Synergien im Basiskonzept Teilchen-Materie/Stoff in Themenfeld 7 (z. B. Makromoleküle), technische Bezüge im Themenfeld 9 (z. B. Analysemethoden und damit verbundene Nachweisgrenzen) und Themenfeld 10 (z. B. Auswirkungen von Mutagenen und Umweltgiften).

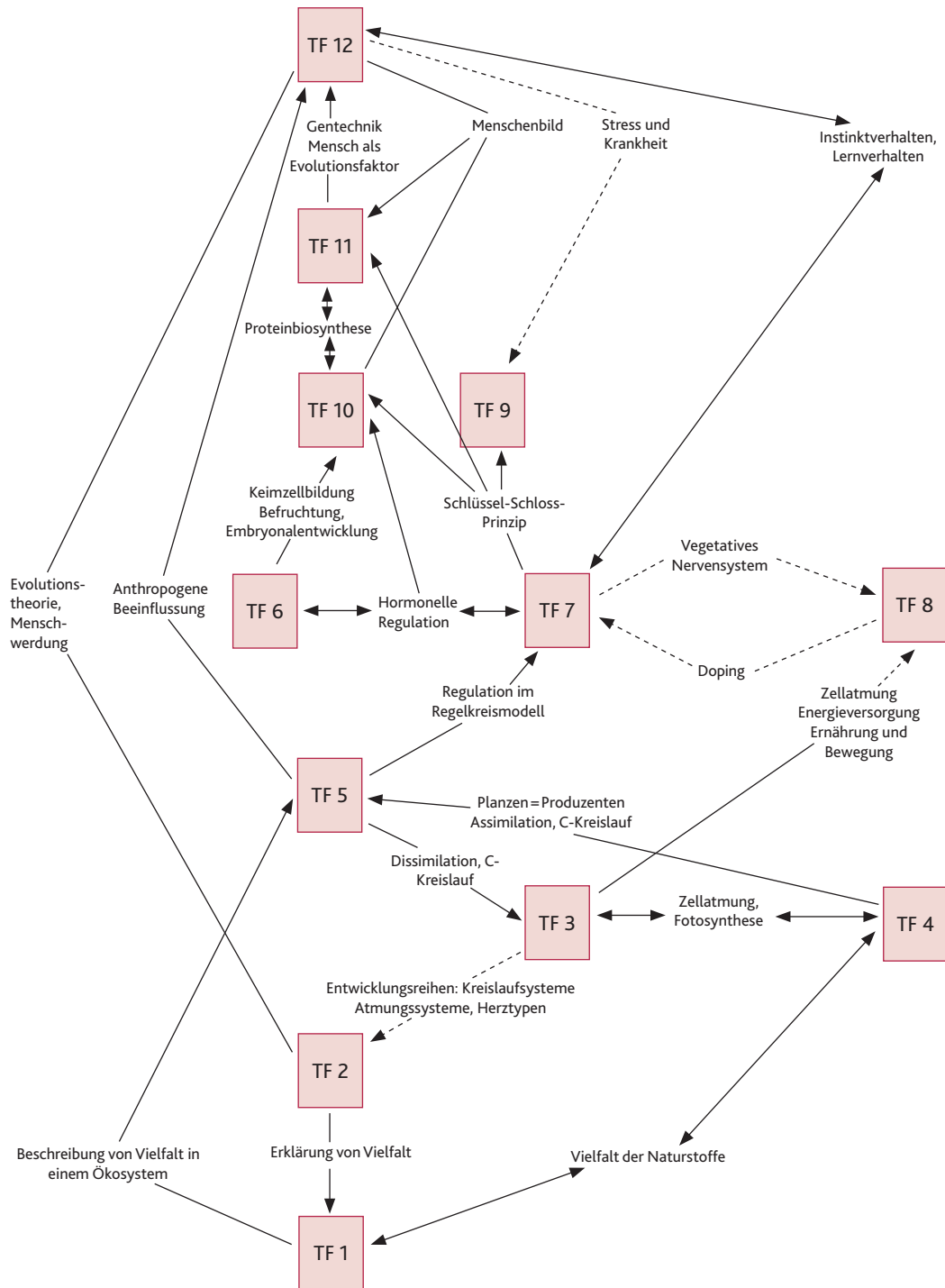


Abb. 5: Bezüge zwischen den Themenfeldern, Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Biologie“, S. 149

**Legende:**

- unverzichtbare Vernetzung
- sinnvolle differenzierende Vernetzung
- Pfeilrichtung aufsteigend = TF ist Voraussetzung
- ← Pfeilrichtung absteigend = TF schafft Anwendungs- und Vernetzungsmöglichkeiten
- ↔ Die so verknüpften Themenfelder können in hinführender oder anwendender Vernetzung stehen.

## 2 EXEMPLARISCHE REIHENPLANUNG

### 2.1 Übersicht über die Themenbereiche und Kontexte

Die hier gezeigten Unterrichtsvorschläge sind so konzipiert, dass das in der Intention beschriebene Fachwissen und die damit verbundene Kompetenzentwicklung ermöglicht wird.



Das begleitende Praktikum „**Mobiles Genlabor**“ leitet zum Arbeiten mit molekularen Werkzeugen an. Mit der Durchführung des Genlabors (vgl. Kapitel 4, Methodenkoffer) lernen Schülerinnen und Schüler eine aktuelle Labortechnik kennen, die aus heutigen molekularbiologischen Labors nicht mehr wegzudenken ist und auf der ganzen Welt eingesetzt wird. Die Durchführung des Genlabors unterstützt das Verständnis des Unterrichts und motiviert für die Beschäftigung mit labortechnischen Berufen. Das Mobile Genlabor kann den vorgeschlagenen Kontexten vorangestellt oder anschließend durchgeführt werden. Eine mögliche Integration in den folgenden Reihenplanungen wird durch das Symbol eines Eppendorf Tubes® angezeigt.

Im Themenbereich „**Biowissenschaften und Medizin**“ werden zwei alternative Kontexte beschrieben:

**Kontext 1 „Corona – Die Welle brechen“** schließt sich thematisch an Themenfeld 10 „Individualität und Entwicklung“ an und versteht sich als Vernetzungskontext zu den darin gelegten Grundlagen. Mit der aus Themenfeld 10 bekannten Molekulargenetik wird erklärt, wie Sequenzierung, Polymerase-Kettenreaktion (PCR), Antigentest sowie Impfstoffherstellung funktionieren. Wie auch im Kontext 4 arbeiten Schülerinnen und Schüler mit Vorstellungen und Modellen auf der molekularen Ebene. Angewendet wird hier das Wissen über den genetischen Code, Replikation und die Proteinbiosynthese.

**Kontext 4 „Von der Antibiotikaresistenz zur Genschere“** knüpft an das Themenfeld 9 „Krankheitserreger erkennen und abwehren“ an und stellt den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgang in den Mittelpunkt des Unterrichts. Schülerinnen und Schüler werten Versuche aus, welche die lytische Wirkung von Phagen auf Bakterien und Resistenz der Bakterien gegenüber Phagen zeigen. Schülerinnen und Schüler erklären die Versuche mit Modellen auf der Zellebene und molekularen Ebene. Neu ist das **CRISPR/Cas-System**, das im animierten Modell dargestellt wird. Die Genschere CRISPR/Cas findet im Kontext 3 „Biowissenschaften und nachhaltige Entwicklung“ in der Lerneinheit „Global Goal 2 – Kein Hunger“ wieder Anwendung.

Der Themenbereich und namensgleiche **Kontext 2 „Reproduktionsmedizin“** ist geeignet, Bewertungskompetenzen zu entwickeln:

Am Beispiel der angeborenen Myotonen Dystrophie Typ 1 wird das notwendige Fachwissen In-vitro-Fertilisation (IVF), Präimplantationsdiagnostik (PID) und Embryonenselektion erworben, um eine genetische Beratung ethisch zu bewerten. In Ergänzung kann die somatische Gentherapie als Alternative zum Eingriff in die Keimbahn herangezogen werden, sie benutzt die CRISPR/Cas-Technik. Die Genschere CRISPR/Cas findet im Kontext 3 „Biowissenschaften und nachhaltige Entwicklung“ in der Lerneinheit „Global Goal 2 – Kein Hunger“ wieder Anwendung.

Der Themenbereich „**Biowissenschaften und nachhaltige Entwicklung**“ gibt einen Überblick über den Beitrag der Biowissenschaften zu den globalen nachhaltigen Entwicklungszielen, den Sustainable Development Goals (SDGs).

In dem namensgleichen **Kontext 3 „Biowissenschaften und nachhaltige Entwicklung“** werden einleitend die 17 Ziele der nachhaltigen Entwicklung kennengelernt und der Beitrag biowissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden herausgearbeitet. Vertiefend wird am Beispiel der Pflanzenzüchtung auf das Ziel 2 „Kein Hunger“ fokussiert. Dabei werden Züchtungsmethoden, auch mittels **CRISPR/Cas-Technik** erklärt.

Die nachfolgenden Planungsstrukturen (Abb. 6 und 7) zeigen mögliche Unterrichtsreihen.

Die kleinste Planungseinheit ist die Lerneinheit. Eine Lerneinheit umfasst 1-3 Unterrichtsstunden und verläuft in definierten Phasen: Ankommen im Lernkontext, Vorstellungen entwickeln, Lernprodukt herstellen, Lernprodukt diskutieren, Lernzugewinn feststellen, Vernetzen. Jede Phase kann durch Materialien und Medien unterstützt werden. Diese werden in der Handreichung beschrieben.



## Exemplarische Reihenplanung 1

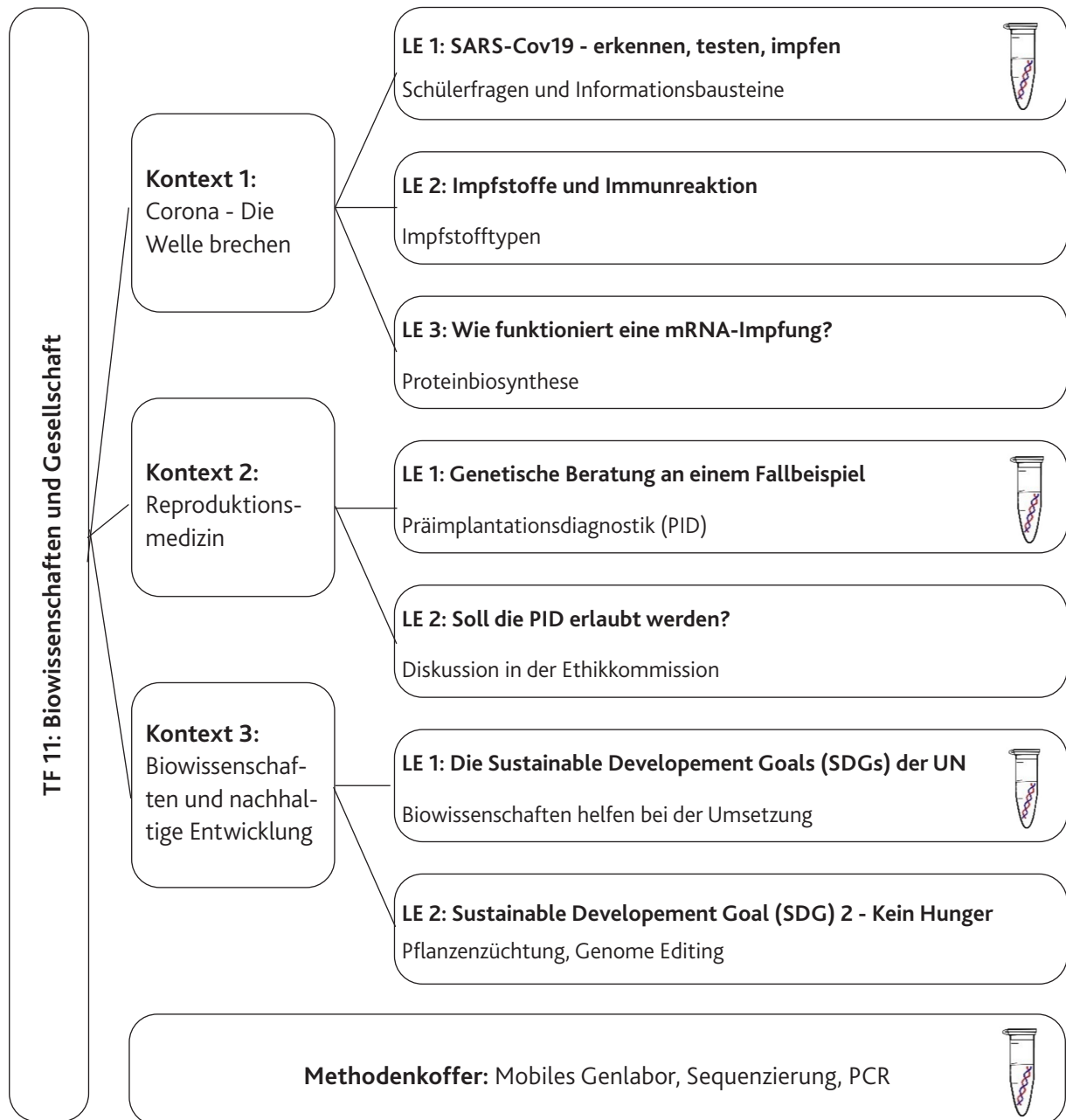


Abb. 6: Mögliche Unterrichtsreihe zum Themenfeld 11

Exemplarische Reihenplanung 2

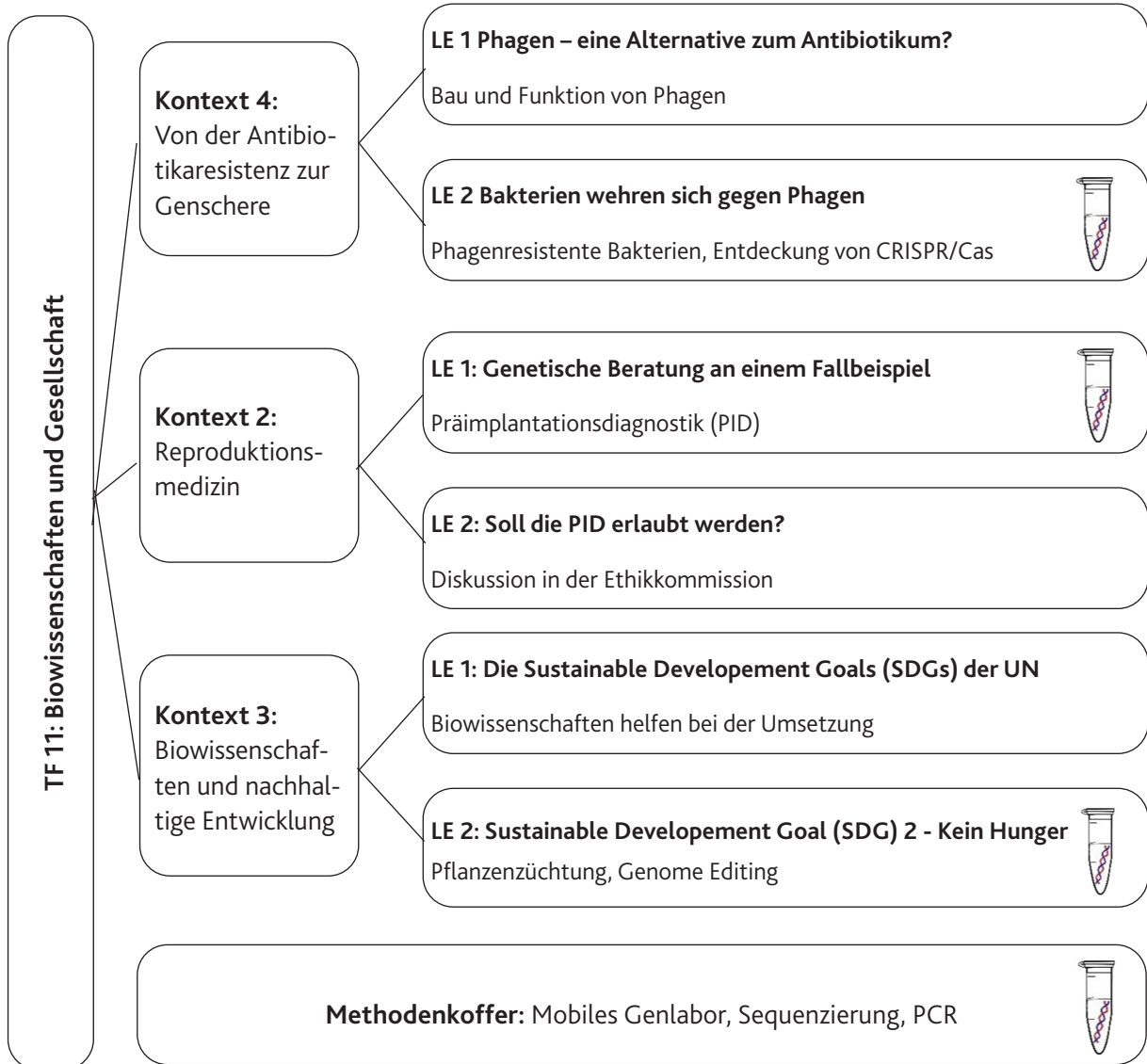


Abb. 7: Mögliche Unterrichtsreihe zum Themenfeld 11

## 2.2 Kompetenzorientierung

In der nachfolgenden Tabelle sind beispielhaft den Lerneinheiten die zu entwickelnden Kompetenzen zugeordnet. Ihre Nummerierung entspricht den bereits aufgeführten Reihenplanungen, z. B. Kontext 1\_Lerneinheit 1 (K1\_LE1). Ihnen sind chronologisch nummeriert einzelne Materialien zugeordnet (K1\_LE1\_M1). Die Einzelmaterialien können durchaus modularen Charakter haben und in verschiedenen Kontexten genutzt werden.

Kompetenz	K 1	K 2	K 3	K 4	MG*
Schülerinnen und Schüler ...					
... nutzen einschlägige Fachbegriffe zur gezielten Recherche.	LE1		LE1		
... stellen Rechercheergebnisse einem Publikum adressatengerecht und in strukturierter sprachlicher Darstellung vor.	LE1		LE1 LE2	LE2	
... argumentieren zu Chancen und Risiken biotechnologischer Anwendungen, z. B. Reproduktionsmedizin, Gentechnik, Gendiagnostik.		LE2	LE2		4.2 4.3
... wenden biologisches Fachwissen an, um Technologien zu erklären oder zu beurteilen.	LE1 LE2	LE1		LE2	4.2 4.3

\*Methodenkoffer: Mobiles Genlabor

Im Kapitel 3 werden die Lerneinheiten durch exemplarische Umsetzungsbeispiele und Lernmaterial konkretisiert.

Zusätzlich zu dem ausgearbeiteten Material wird auf Quellen (z. B. Internetseiten) und weiterführende Informationen hingewiesen. Die Verweise in der Handreichung sind auf die Onlinematerialien abgestimmt.

Das gesamte Material ist zu finden unter folgenden Links:

<http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/faecher/biologie/unterricht.html>

Mediathek des Schulcampus: <https://www.schulcampus-rlp.de/dashboard>

Es ist nicht intendiert, alle Materialien einzusetzen, da dies die zeitlichen Vorgaben des Themenfeldes von ca. 15 Stunden weit überschreiten würde. Im Bewusstsein der Vielfalt von individuellen Lernzugängen und Lernvoraussetzungen sowie schulischen Besonderheiten illustrieren sowohl die Handreichung als auch die Onlinematerialien eine Vielzahl von Möglichkeiten für die eigene Unterrichtsplanung.

## 3 EXEMPLARISCHE UNTERRICHTSMATERIALIEN

### 3.1 Kontext 1: Corona - Die Welle brechen

#### LE 1 „Corona - erkennen, testen, impfen“

Onlinematerial:

Bio\_TF11\_K1\_LE1\_ppt\_Corona\_erkennen\_testen\_impfen\_Bildkarten

Bio\_TF11\_K1\_LE1\_M1\_Corona-Schlagzeilen

Bio\_TF11\_K1\_LE1\_M2\_Glossar und Mindmap

Bio\_TF11\_K1\_LE1\_M3\_Wissensbausteine

Bio\_TF11\_K1\_LE1\_M4\_Auswertung epidemiologischer Daten

Bio\_TF11\_K1\_LE1\_Übung\_Vermehrung von Viren

Bio\_TF11\_K1\_LE1\_Vertiefung\_Genmutationen

#### Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:

Der hier vorliegende Kontext greift das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler über die körperlichen und zellulären Vorgänge bei einer Virusinfektion auf (Themenfeld 9: Krankheitserreger erkennen und abwehren). Die Wirkung von Präventiv- und Schutzmaßnahmen können durch Kenntnisse über Infektionswege und die sich daraus ergebenden AHAL-Regeln erklärt werden (AHAL = Abstand halten, Hygiene beachten, im Alltag Maske tragen, regelmäßig Lüften.).

Die vorliegenden Materialien greifen tiefergehende Fragen auf, die nur mithilfe molekulargenetischer Vorstellungen beantwortet werden können: Wie unterscheiden sich Virusvarianten und woran erkennt man sie? Wie funktionieren Virentests? Wie werden passende Impfstoffe entwickelt? Konkrete Fragen zu den verschiedenen Corona-Impfstoffen und zu den molekularen Werkzeugen (PCR, Antigen- oder Antikörper-Schnelltest, Sequenzierung) werden in nachfolgenden Materialien geklärt oder mit dem Praktikum Mobiles Genlabor (Methodenkoffer) vertiefend behandelt.

**Intentionen der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler erklären Virusvarianten, Testmethoden und Impfstoffentwicklung auf der Basis molekularbiologischer Vorstellungen. Je nach Medieneinsatz gewinnen sie Einblicke in Berufsfelder wie z. B. MTA, Laborantin oder Laborant, Laborassistentin oder Laborassistent ...

**Im Lernkontext ankommen:** Aktuelle Schlagzeilen zur Corona-Pandemie (M1) laden zum Klassengespräch ein. Schülerinnen und Schüler kennen Strategien zur Eindämmung des Infektionsgeschehens. Sie unterscheiden individuelle Maßnahmen (AHAL-Regeln) von epidemiologischen Maßnahmen (gestufte Verordnungen zur Kontaktbeschränkung, Typisierung des Erregers, Teststrategien, Impfstrategien und Impfstoffe). Das Material fokussiert auf die epidemiologischen Aspekte der Pandemie-Bekämpfung. Schülerinnen und Schüler formulieren eine Leitfrage, z. B. „Wie kann eine Epidemie oder Pandemie unter Kontrolle gebracht werden?“ oder in der Vergangenheit „Wie oder wodurch wurde die Corona-Epidemie unter Kontrolle gebracht?“

Für leistungsstärkere Lerngruppen kann ein Einstieg über grafische Darstellungen des Infektionsgeschehens in Deutschland erfolgen (M4).

**Vorstellungen entwickeln:** Vorwissen und Fragen werden ausgetauscht und strukturiert, z. B. in Form einer Mindmap. Schülerinnen und Schüler werden während einer kurzen Einzelarbeit aufgefordert, Fachfragen zu formulieren. Zur Niveaue Konkretisierung und als Formulierungshilfe wird ein „Zettelkasten“ (Wortfeldsammlung) erstellt. Idealerweise wird dieser auf der Basis des Klassengesprächs kooperativ entwickelt und der gesamten Lerngruppe zur Verfügung gestellt (M2).

**Lernprodukt erstellen:** Für jeden Hauptast der Mindmap wird eine exemplarische Fachfrage notiert. Schülerinnen und Schüler bekommen die Aufgabe, zu ihren eigenen Fragen zu recherchieren. Die Recherche beschränkt sich auf die von der Lehrkraft zusammengestellten Textbausteine und Bildkarten (M3, ppt). Dabei suchen sie sich mindestens eine Frage aus, die sie beantworten und deren Lösung vor der Klasse präsentiert werden kann. Für die sachgerechte Präsentation werden Diagramme, Bilder, Tabellen, Modelle u. a. einbezogen.

Aus zeitökonomischen Gründen bietet sich die Methode „Think-Pair-Share“ und die Beschränkung auf maximal zwei der Bildkarten aus der PowerPoint-Präsentation pro Vortrag an (ppt). Die Lehrkraft begleitet die Erstellung der Präsentationen durch diagnostische Interviews: „Welches Diagramm oder Foto habt ihr ausgesucht? Welche Fachbegriffe wollt ihr verwenden? Welche Fragen beantwortet eure Bildkarte?“

**Lernprodukt vorstellen/diskutieren:** Die diagnostischen Interviews ermöglichen der Lehrkraft, eine didaktisch sinnvolle Reihenfolge der Präsentationen zu bestimmen. Offene Fragen der einen Präsentation werden durch weitere Präsentationen beantwortet oder vertieft. Am Ende des Präsentationsteils erfolgt die fachliche Diskussion und die Zusammenführung der Ergebnisse. Als Post Organizer bietet sich erneut die Mindmap an, in welche die nun geklärten Antworten auf Fragen in die Nebenäste eingetragen werden können.

**Lernzugewinn definieren:** In Einzelarbeit werden Fachbegriffe an die Nebenäste der Mindmap notiert. Es erfolgt der Rückgriff auf den Impuls (M1) und die Leitfrage, die die Schülerinnen und Schüler nun beantworten.

Mit dem neu erworbenen Wissen lassen sich die grafischen Darstellungen des Infektionsgeschehens in Deutschland interpretieren (M4).

**Vernetzen und Transferieren:** Die Diagramme zeigen den Effekt der Maßnahmen und der Impfungen. In den folgenden Lerneinheiten wird über die Art der zur Verfügung stehenden Impfstoffe informiert und daraus tieferes Verständnis für die Wirkung und Nebenwirkung erzielt. Dieses Sachwissen ist notwendige Bedingung dafür, dass Argumente gefunden oder verstanden werden, die nötig sind, um Impfempfehlungen zu bewerten und zu einer eigenen Meinung zu kommen. (Siehe auch Themenfeld 9, Methodenkoffer: 6 Schritte zur Bewertungskompetenz.)

In Vorbereitung auf die Oberstufe dienen Vertiefungsaufgaben den erforderlichen molekulargenetischen Grundlagen.

Diese Handreichung enthält weitere Anknüpfungsmöglichkeiten von CRISPR/Cas in den Kontexten 3 und 4.



Exemplarisches Onlinematerial: M3 Textkarte und ppt-Bildkarte

**Wissensbaustein 5**

*Virusvarianten (Mutanten), Mutationen, Replikationsfehler, Reparaturprotein*

Viren vermehren sich in der Wirtszelle. Sie benutzen dabei das „Enzymbesteck“ der Zelle. Bei der Replikation (dem Kopieren) der Viren-RNA passiert es, dass Basen vertauscht oder ausgelassen werden. Dies führt zu Veränderungen der Basenfolge und zu einem anderen Code. Dies gilt auch für den Code des Spike-Proteins. Es können Viren mit anderen Oberflächenproteinen entstehen. Diese so genannten **Mutanten** haben möglicherweise auch andere Eigenschaften, z. B. eine bessere oder schlechtere Fähigkeit, an Wirtszellen anzudocken oder von Antikörpern oder Immunzellen erkannt zu werden.

Die RNA von SARS-CoV-2 enthält außerdem den Code für ein Reparaturprotein, das viele Kopierfehler erkennen kann. Dies hat zur Folge, dass das Virus nur relativ langsam neue Mutationen hervorbringt und es relativ wenig Varianten gibt. Das ist ein Glücksfall für die Impfstoffentwicklung.

Andere Viren verfügen nicht über ein solches Reparaturprotein. Dadurch entstehen im Patienten ständig neue Virusvarianten (Mutanten) durch Kopier- und Lesefehler. In diesen Fällen ist es extrem schwierig, einen Impfstoff zu entwickeln.

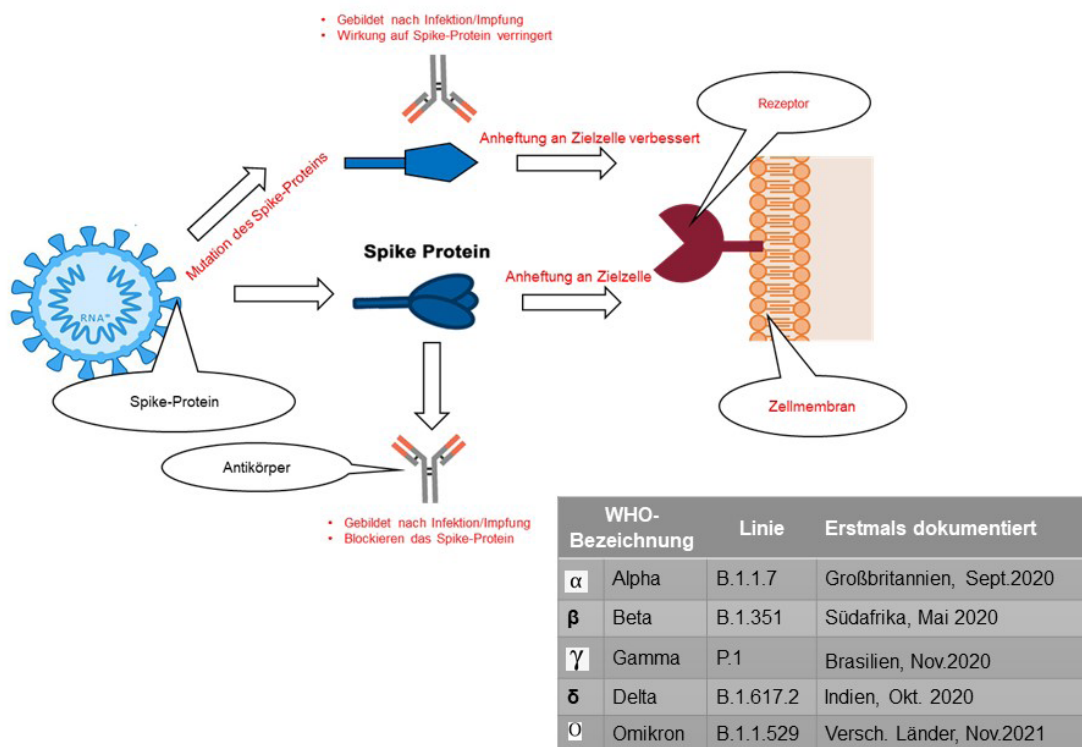


Abb. 8: Mögliche Bildkarte aus der Bio\_TF11\_K1\_LE1\_ppt zum Wissensbaustein 5

## LE 2: Eine Impfung gegen Covid-19 – Impfstoffzusammensetzung und Wirkungsweise von Impfungen

Onlinematerialien:

Bio\_HR\_TF9\_LE7\_M7.4

Bio\_TF11\_K1\_LE2\_Eine Impfung gegen Covid

**Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:** Gegen viele Krankheitserreger wehrt sich das körpereigene Immunsystem. Humorale und zelluläre Abwehrmechanismen verteidigen den Körper vor dem Angriff mit Krankheitserregern. Doch nicht bei allen Erregern gelingt dem Körper die Verteidigung. Durch die Entwicklung von Schutzimpfungen, die erstmals 1796 bei Pocken Anwendung fanden, konnten in den Folgejahren auch andere Infektionskrankheiten erfolgreich besiegt und deren Verbreitung innerhalb der Bevölkerung eingedämmt werden. Trotzdem sind Impfungen auch heute eines der meistdiskutierten Themen innerhalb der Medizin und auch der Politik. Die Aufklärung über die Zusammensetzung von Impfstoffen und deren Wirkungsweise führt zu einem besseren Verständnis auf biologischer, aber auch gesellschaftlicher Ebene.

**Intentionen der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler informieren sich in einer arbeitsteiligen Gruppenarbeit bezüglich der Wirkungsweise verschiedener Impfstoffe und ergänzen die ihnen bereits bekannte Abbildung zu den Abläufen der Immunantwort anhand einer entsprechenden Zeichnung zur Wirkungsweise eines ausgewählten Impfstoffs.

**Im Lernkontext ankommen:** Schülerinnen und Schüler tauschen sich zu einer aktuellen Schlagzeile bezüglich der Impfstoffentwicklung gegen SARS-Cov19 aus.

Leitfrage: Welche Impfstoffe gibt es und wie wirkt die Impfung?

Um die Leitfrage zu beantworten, ist ein Rückgriff auf das Wissen über die Abläufe der Immunabwehr notwendig (vgl. Themenfeld 9, LE 7, hier M1). Schülerinnen und Schüler wiederholen die Abläufe der Immunabwehr und widmen sich dann der Leitfrage.

**Vorstellungen entwickeln:** Schülerinnen und Schüler stellen Vermutungen bezüglich der Impfstoffzusammensetzung auf und verknüpfen diese mit ihrem reaktivierten Wissen zur Immunabwehr. Dadurch entwickeln sie auch bereits Vorschläge oder Ideen zur Wirkungsweise der genannten Impfstoffe (M2). Mithilfe der Übersicht aus Material 1 können erste Vorstellungen über die notwendigen Abläufe auf zellulärer Ebene entwickelt und das Lernprodukt so vorentlastet werden.

**Lernprodukt erstellen:** In einer arbeitsteiligen Gruppenarbeit (M3) erarbeiten sich Schülerinnen und Schüler die verschiedenen Impfstoffe und deren Wirkungsweise anhand eines bereitgestellten Informationstextes. Ihre Erkenntnisse halten sie in einer Zeichnung fest und bereiten sich darauf vor, damit die Wirkungsweise des Impfstoffs zu erklären.

**Lernprodukt diskutieren:** Schülerinnen und Schüler präsentieren ihre Ergebnisse mithilfe der erstellten Zeichnungen. Gemeinsam wird anhand einer Tabelle die Zusammensetzung des Impfstoffs und seine Wirkungsweise zusammengefasst (M4).

**Lernzugewinn definieren:** Schülerinnen und Schüler greifen auf ihre anfangs formulierten Vermutungen bezüglich der Zusammensetzung des Impfstoffs zurück und verifizieren bzw. falsifizieren diese.

**Transferieren und vernetzen:** Schülerinnen und Schüler recherchieren anhand des zur Verfügung gestellten Links den momentanen Stand der zugelassenen Impfstoffe. Sie ordnen diese in die Tabelle (M4) ein.

### Exemplarisches Onlinematerial: Text und mögliche Lösung (Schemazeichnung)

#### Nukleinsäure-Impfstoffe

Hierbei wird die Nukleinsäure des Erregers in Form von DNA oder RNA in die Zellen eingeschleust. In den Zellen werden sie dann in virale Proteine übersetzt.

Dabei muss unterschieden werden, dass die RNA-basierten Impfstoffe lediglich die RNA der Antigene sowie einen Hilfsstoff (meist Lipidnanopartikel) beinhaltet, der dafür sorgt, dass die RNA in die Zelle eingebracht werden kann. Dort wird diese RNA wie eine mRNA translatiert und die Zelle präsentiert die Proteine des Erregers auf der Zelloberfläche, so dass die Immunantwort ausgelöst wird.

Bei DNA-Impfstoffen muss zunächst noch der Zwischenschritt der Transkription erfolgen. Die DNA, welche meist in Form eines ringförmigen Plasmids vorliegt, wird mitsamt eines Lipids injiziert und somit in die Zellen aufgenommen. Nachdem die DNA in den Zellkern importiert wurde, kann die Transkription stattfinden. Die erstellte mRNA wird dann ins Cytosol ausgeschleust und dort, wie beim mRNA-Impfstoff, translatiert.

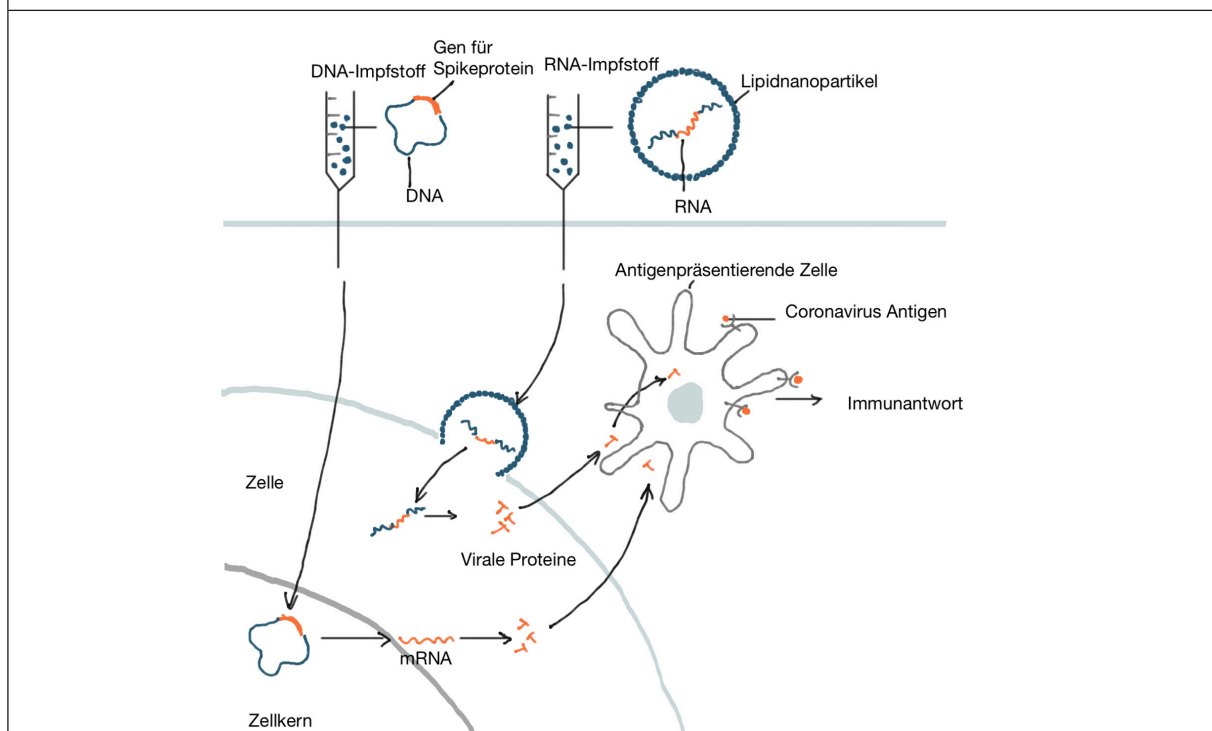


Abb. 9: Mögliches Schema zur Wirkungsweise eines Impfstoffs (Lösung)

### LE 3: Eine Impfung gegen Covid-19 – Wie wirken mRNA-Impfstoffe?

Onlinematerial:

Bio\_HR\_TF10\_Kontext1\_M5

Bio\_TF11\_K1\_LE3\_Wirkungsweise mRNA Impfstoff

#### Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:

**Intention der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler nutzen ihr Wissen zur Impfstoffzusammensetzung und Wirkungsweise der mRNA-Impfstoffe, um eine anschauliche Erklärung zu formulieren.

**Im Lernkontext ankommen:** Schülerinnen und Schüler beschreiben die Situation aus dem Gespräch zwischen Mutter und Tochter (M1).

Leitfrage: Wie wirken die mRNA-Impfstoffe gegen Covid-19 auf molekularer Ebene?

Um die Leitfrage zu beantworten, ist ein Rückgriff auf das Wissen über die Abläufe der Proteinbiosynthese notwendig (vgl. Bio\_HR\_TF10\_Kontext1\_M5, hier M2). Schülerinnen und Schüler reaktivieren ihr Wissen und widmen sich dann der Leitfrage.

**Vorstellungen entwickeln:** Schülerinnen und Schüler stellen Vermutungen bezüglich der Wirkungsweise der mRNA-Impfstoffe auf molekularer Ebene auf. Eventuell hilft ein provozierender Impuls, damit die Schülerinnen und Schüler ihr Wissen reaktivieren, wie z. B.: Reicht die mRNA aus, um eine Immunität zu erzielen? Dabei greifen sie auf ihr Vorwissen aus der Lerneinheit 2 zurück und verknüpfen dieses mit ihrem Wissen zur Proteinbiosynthese. Gemeinsam werden Überlegungen angestellt, welche Erklärungen und Darstellungsweisen hilfreich für das Verständnis der Mutter sein könnten.

**Lernprodukt erstellen:** In Einzelarbeit (M3) wiederholen Schülerinnen und Schüler die bereits bekannte immunologische Wirkungsweise der mRNA-Impfstoffe. Sie verknüpfen diese Erkenntnisse mit ihrem Wissen zur Proteinbiosynthese und erweitern die Abbildung (M2).

**Lernprodukt diskutieren:** Danach betrachten sie die Produkte der anderen Gruppen in Form eines Gallerywalks und hinterlassen anhand von Post-its fachliche „Fußabdrücke“.

**Lernzugewinn definieren:** Sie überarbeiten ihre ergänzten Abbildungen anhand der Rückmeldung der Mitschülerinnen und Mitschüler. Anschließend greifen sie auf ihre anfangs formulierten Vermutungen bezüglich der Wirkungsweise zurück und verifizieren bzw. falsifizieren diese.

**Transferieren und vernetzen:** An dieser Stelle ist eine Bewertungseinheit zum Thema der Impfpflicht geeignet. Je nachdem, ob die Frage einer Impfpflicht bereits innerhalb des Themenfeldes 9 (Kontext Marn) thematisiert wurde, kann die Lehrkraft hier situativ entscheiden.

## 3.2 Kontext 2: Reproduktionsmedizin

### LE 1: Genetische Beratung an einem Fallbeispiel – Ablauf der Präimplantationsdiagnostik (PID)

Onlinematerial:

Bio\_TF11\_K2\_LE1\_M1\_PID\_Schlagzeilen

Bio\_TF11\_K2\_LE1\_M2\_PID\_Fachtext\_Schema

**Fachliche Hintergründe:** Informationen zur Präimplantationsdiagnostik

Unter Präimplantationsdiagnostik (PID) versteht man genetische Untersuchungen von Zellen eines Embryos vor der Übertragung in die Gebärmutter. Bei diesen Untersuchungen wird nach genetischen Auffälligkeiten oder einer Chromosomenstörung gesucht. Erst seit 2011 ist in Deutschland die PID in besonderen Fällen und nach der Absolvierung eines komplexen Zulassungsverfahrens erlaubt.

#### ■ Zulassungsverfahren

Bevor eine PID genehmigt und durchgeführt werden kann, müssen mehrere Schritte eines Zulassungsverfahrens durchlaufen werden.

1. Humangenetische Beratung – Aufklärung über Verfahren, Abfragen notwendiger medizinischer Informationen, Aufzeigen von Grenzen der Diagnostik, Beurteilung der vorliegenden medizinischen Indikation
2. Reproduktionsmedizinische Untersuchung – Aufklärung über künstliche Befruchtung, Abklärung der medizinischen Gegebenheiten
3. Psychosoziale Beratung – Grundlage des Antrags an die Ethikkommission ist eine ärztliche Aufklärung zu den medizinischen, psychischen und sozialen Folgen einer PID
4. Antrag an die Ethikkommission – die Ethikkommission entscheidet auf Grundlage des Antrags und der medizinischen Indikation, ob dem Antrag auf PID zugestimmt wird.
5. Antrag auf PID im medizinischen Zentrum
6. Durchführung der reproduktionsmedizinischen Maßnahmen – Stimulation, Eizellentnahme, Befruchtung, humangenetische Analysen an Zellmaterial der Embryonen, Transfer in die Gebärmutter

Verändert nach: <https://www.unimedizin-mainz.de/humangenetik/zentren/pid-zentrum.html>

#### ■ Medizinische Grundlagen

Die PID kann nur im Rahmen einer künstlichen Befruchtung durchgeführt werden. Dazu werden nach einer Hormonbehandlung der Frau reife Eizellen aus den Eierstöcken entnommen und mit den Spermien des Partners entweder durch eine In-vitro-Fertilisation (IVF) oder Intrazytoplasmatische Spermieninjektion (ICSI) befruchtet. Dem entwickelten Embryo werden etwa vier bis fünf Tage nach der Befruchtung Zellen entnommen, um die Erbanlagen zu untersuchen. Diese Untersuchung darf nach dem Embryonenschutzgesetz (ESchG) nur nach dem 8-Zell-Stadium durchgeführt werden, da die Zellen dann nicht mehr totipotent sind. Das heißt, dass diese pluripotenten Zellen sich auch beim Vorliegen der dafür erforderlichen Voraussetzungen einzeln nicht mehr zu einem vollständigen Embryo entwickeln können (vgl. <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/p/praeimplantationsdiagnostik-pid.html>).



Nach der Untersuchung werden ein bis zwei Embryonen ohne erkennbare chromosomale oder genetische Veränderung in die Gebärmutter der Mutter übertragen.

Bei der PID wird nur auf die in der Familie vorliegende Erkrankung hin untersucht, daher kann es trotz des Verfahrens zu Gesundheitsstörungen des Kindes kommen. Darüber hinaus kann es durch Versagen der diagnostischen Verfahren auch zu einem fälschlicherweise negativen Untersuchungsergebnis kommen, so dass etwa 2-5% der Kinder trotz Tests an der betrachteten Krankheit erkranken.

#### ■ Rechtslage in Deutschland

Eine PID ist in Deutschland nach § 3a des Embryonenschutzgesetzes nur in strengen Ausnahmen bei genetischer Vorbelastung der Eltern zulässig, wenn ein hohes Risiko für eine schwerwiegende Erbkrankheit oder eine Schädigung des Kindes besteht, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Fehlgeburt oder Totgeburt führen kann (vgl. EschG, § 3a, Präimplantationsdiagnostik; Verordnungsermächtigung, [https://www.gesetze-im-internet.de/eschg/\\_\\_\\_3a.html](https://www.gesetze-im-internet.de/eschg/___3a.html))

Geregelt wird die Umsetzung des Verfahrens durch die „Verordnung zur Regelung der Präimplantationsdiagnostik – PIDV“ von 2014. Sie beinhaltet, dass die PID nur in speziell zugelassenen Zentren durchgeführt werden darf. Darüber hinaus muss das obige Beratungsverfahren durchlaufen werden und eine schriftliche Zustimmung der Frau vorliegen (vgl. Verordnung zur Regelung der Präimplantationsdiagnostik – PIDV unter <http://www.gesetze-im-internet.de/pidv/>).

#### ■ Ethikkommission

Essentieller Bestandteil des Zulassungsverfahrens ist die Zustimmung der an die ortsansässige Ärztekammer angegliederten Ethikkommission für Präimplantationsdiagnostik.

Es ist gesetzlich nicht festgelegt, was als schwerwiegende Erkrankung anzusehen ist. Die Aufgabe der Ethikkommission ist es, individuell unter Berücksichtigung der Besonderheiten des jeweiligen Einzelfalles über die Durchführung der PID zu entscheiden. Von der Erstellung einer Positivliste bzw. Erkrankungsliste sieht man bisher ab, da dies zu Diskriminierung von Menschen mit Behinderung führen kann.

Die gemeinsame PID-Ethikkommission der Länder Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen und Thüringen ist bei der Landesärztekammer in Baden-Württemberg eingerichtet und besteht aus acht Mitgliedern:

- vier medizinische Sachverständige aus Fachrichtungen, welche mit der PID in Zusammenhang stehen, so z. B. Humangenetiker/in, Fachärztin oder Facharzt für Frauenheilkunde und Geburtshilfe, für Kinderheilkunde sowie für Psychiatrie und Psychotherapie,
- eine Sachverständige oder ein Sachverständiger aus der Fachrichtung Ethik,
- eine Sachverständige oder ein Sachverständiger aus der Fachrichtung Recht,
- eine Vertreterin oder ein Vertreter einer Organisation, die sich für die Wahrnehmung der Interessen von Patientinnen und Patienten engagiert,
- eine Vertreterin oder ein Vertreter einer Organisation, die sich für die Interessen der Selbsthilfe für Menschen mit Behinderungen einsetzt.

Die PID-Ethikkommission ist nicht gleichzusetzen mit dem deutschen Ethikrat. Der Ethikrat hat laut Gesetz die Aufgabe, ethische, gesellschaftliche, naturwissenschaftliche, medizinische und rechtliche Fragen zu erörtern und deren vermutliche Auswirkungen für Individuum und Gesellschaft zu diskutieren und

darüber zu informieren. Er hat darüber hinaus Empfehlungen und Stellungnahmen für politisches Handeln zu geben und beratend bei gesetzgebenden Prozessen zur Seite zu stehen. Der Ethikrat spielt daher z. B. eine Rolle, wenn es um die Gesetzgebung rund um die PID geht.

Die PID-Ethikkommission hingegen wurde erst 2015 ins Leben gerufen und berät über die einzelnen eingereichten Anträge. Die interdisziplinär zusammengesetzte Kommission prüft, ob die gesetzlichen Anforderungen erfüllt sind und untersucht die vorliegende medizinische Indikation. Stimmt die PID-Ethikkommission der PID zu, so kann diese dann in speziellen Zentren durchgeführt werden.

**Intentionen der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler erklären den Ablauf und die Grundlagen der PID. Dazu erarbeiten sie Fachwissen mithilfe ihres Schulbuches oder dem Fachtext aus dem Onlinematerial (M2). Zur Unterstützung ihres Vortrags sollen sie ein Schema (M2) beschriften. Das Fachwissen benötigen sie für eine ethische Diskussion in der folgenden Lerneinheit.

**Im Lernkontext ankommen:** Eine kurze Filmsequenz oder Schlagzeilen zur PID (M1) dienen als Gesprächsanlass, der zu der Leitfrage führt: Wie funktioniert die PID?

Schülerinnen und Schüler äußern sich spontan zu Sachfragen („Wie funktioniert das?“) und zu Bewertungsfragen („Welche Folgen für den einzelnen und für die Gesellschaft ergeben sich aus der Machbarkeit der PID?“) und notieren diese auf Karten.

**Vorstellungen entwickeln:** Was wissen Schülerinnen und Schüler bereits aus dem Alltag oder anderen Unterrichtsfächern zur PID, wo sind Lücken, die geschlossen werden müssen? Schülerinnen und Schüler äußern ihr Vorwissen, die die Lehrkraft bündelt. Die Karten mit Sachinformationen und -fragen sowie Bewertungsfragen werden von der Lehrkraft in einem Advance Organizer nach Systemebenen gegliedert. Dazu bietet sich ein Wortfeldkasten oder ein Begriffsnetz an.

**Lernprodukt erstellen:** Schülerinnen und Schüler fertigen anhand des Informationstextes (M2) oder einem Text aus dem Schulbuch einen Kurzvortrag zur PID an. Zur Erarbeitung des Fachinhaltes und zur Unterstützung ihres Vortrages ergänzen sie zunächst das Schema mithilfe der Informationen aus dem Informationstext. Dabei werden ggf. Probleme und Verständnislücken sichtbar. Auf Basis dieses Schemas gestalten sie einen Kurzvortrag, der vor der Klasse gehalten werden soll. Zur Unterstützung des Verständnisses kann ein Glossar bereitgestellt werden. Zur weiteren Differenzierung können Schülerinnen und Schüler Textbausteine erhalten, welche sie dem Schema an den entsprechenden Stellen zuordnen.

**Lernprodukt diskutieren:** Die Lehrkraft legt die Reihenfolge der Vorträge fest. Mögliche Missverständnisse und Wissenslücken in den Lernprodukten werden nach und nach geklärt. Mit jedem Vortrag vervollständigt sich das unbeschriftete Schema (M2). Es entsteht ein Post Organizer, der als Grundlage für das Rollenspiel in der Lerneinheit LE 2 dient.

**Lernzugewinn definieren (Sichern):** Schülerinnen und Schüler überarbeiten ihr eigenes Schema mithilfe des Post Organizer. Fragen und Verständnislücken des Advance Organizer können an dieser Stelle nochmal aufgegriffen werden und nun mit dem neuen Fachwissen beantwortet werden. Alternativ kann

an einem konkreten Beispiel (Chorea Huntington, Brustkrebs, cystische Fibrose, Muskeldystrophie ...) der Verfahrensablauf einer PID angewendet werden. Dabei tauchen unweigerlich ethische Fragen auf, die in die Vernetzungsphase überleiten.

**Vernetzen und Transferieren:** Die nächste Lerneinheit stellt eine Bewertungssituation dar (LE 2). Am Beispiel Myotone Muskeldystrophie Typ 1 führen Schülerinnen und Schüler eine ethische Diskussion durch und treffen für dieses Fallbeispiel eine individuelle Entscheidung. Alternativ ist es auch möglich, zunächst die biotechnologischen Verfahren, so z. B. die Sequenzierung zu betrachten (Methodenkoffer, 4.2 Sequenzierung). Als Alternative zur PID und Selektion gesunder Embryonen können auch somatische Gentherapie und Genome Editing, deren Durchführung derzeit über CRISPR/Cas erprobt wird, betrachtet und diskutiert werden (siehe auch: <https://www.mpg.de/11033456/crispr-cas9-therapien>).

### Exemplarisches Onlinematerial:

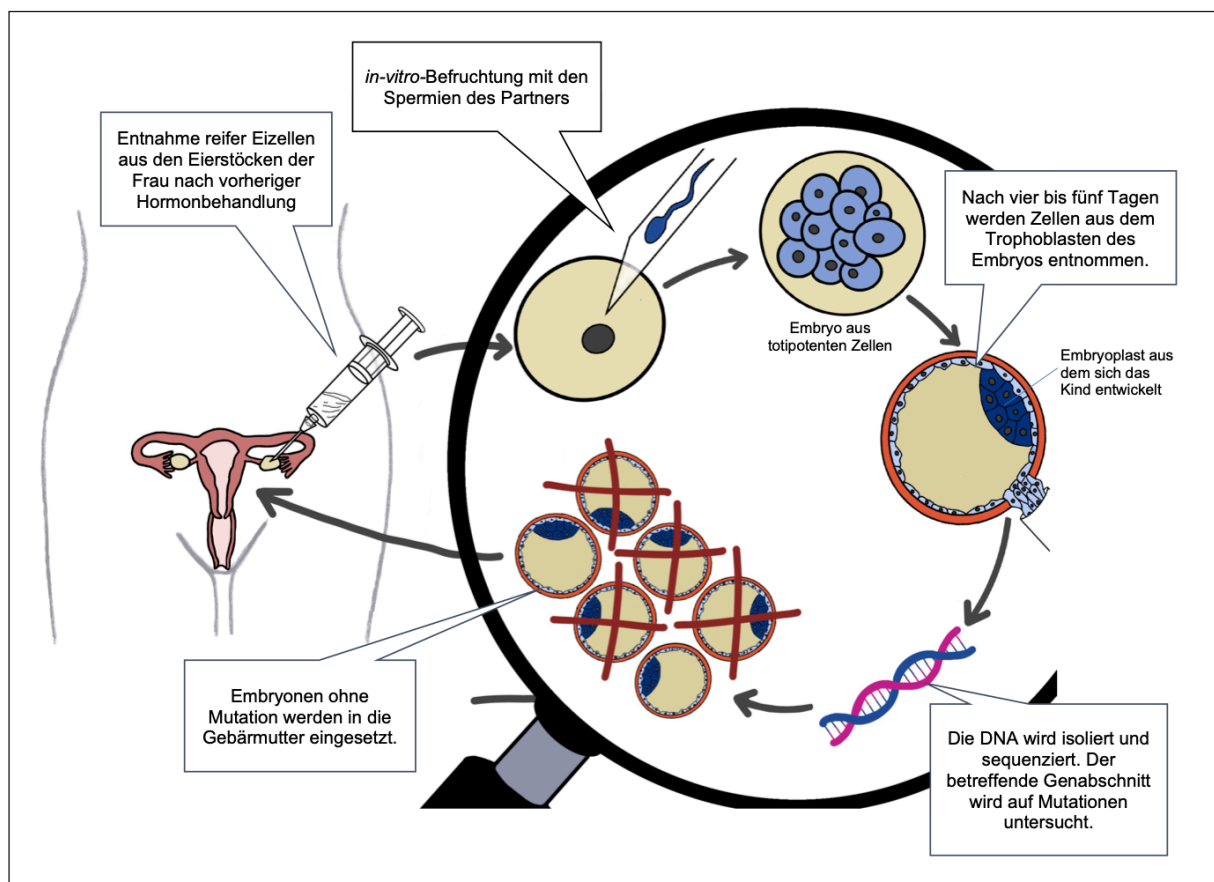


Abb. 10: Ablauf der Präimplantationsdiagnostik (PID) – Lösung

**LE 2: Genetische Beratung an einem Fallbeispiel – Soll die PID erlaubt werden?**

Onlinematerial:

Bio\_TF11\_K2\_LE2\_M1\_Myotone Dystrophie\_Lehrervortrag

Bio\_TF11\_K2\_LE2\_M2\_Myotone Dystrophie\_Infotext

Bio\_TF11\_K2\_LE2\_M3\_Wertepool

Bio\_TF11\_K2\_LE2\_M4\_Urteilsfindung

BIO\_HR\_TF9\_Kontext4\_LE9\_Wertepool\_Impfpflicht

**Fachlicher Hintergrund: Myotone Dystrophie Typ 1 (DM1, Curshman-Steinert)**

Bei der Myotonen Dystrophie Typ 1 handelt es sich um die häufigste vererbte Muskelerkrankung, welche im Erwachsenenalter auftritt und nach der Muskeldystrophie Duchenne die zweihäufigste Muskelerkrankung überhaupt. Ihre Inzidenz liegt bei einer erkrankten Person auf 8.000 Geburten. Die Erkrankung wird durch eine fortschreitende Muskelschwäche und Muskelsteifheit gekennzeichnet. Es kommt zu einer Verkümmern der Gesichts- und Nackenmuskulatur, die Betroffenen weisen oftmals charakteristische Gesichtszüge auf. Das Fortschreiten der Erkrankung ist von starken Gelenk- und Muskelschmerzen geprägt. Außerdem leiden die Betroffenen oft unter Herzrhythmusstörungen, Linsentrübungen, hormonellen Störungen und anderen Beeinträchtigungen. Das durchschnittliche Lebensalter bei Personen mit Myotoner Dystrophie Typ 1 liegt bei 50 bis 60 Jahren.

Die Erkrankung wird autosomal dominant vererbt. Bei etwa 90% der Betroffenen liegt die Ursache in einer Verlängerung eines CTG-Nukleotid-Triplets im untranslatierten DMPK(dystrophia myotonica proteinkinase)-Gen auf Chromosom 19, locus 19q13.32. Dieser Randbereich codiert nicht für das eigentliche Protein, kann aber andere regulatorische Funktionen haben. Von der Anzahl des Repeats hängt das Erkrankungsalter und die Stärke der Erkrankung ab. Je ausgedehnter die Triplet-Verlängerung ist, um so früher und stärker ist die Symptomatik.

Gesunde Personen weisen im Bereich des DMPK-Gens 5 bis etwa 34 CTG-Einheiten auf, diese Anzahl ist bei betroffenen Personen deutlich erhöht. Sie besitzen mindestens 50 CTG-Einheiten. Die Übergänge sind jedoch fließend und auf Basis der Kenntnis von Wiederholungsanzahl können nur Prognosen und keine tatsächlichen Aussagen zu Verlauf und Erkrankungsalter gemacht werden.

Das Repeat verliert mit zunehmender Länge an Stabilität. Dies führt dazu, dass sich die Region bei der Weitergabe in Eizelle und Spermien verlängern kann. Es kann teils beobachtet werden, dass von Generation zu Generation die Erkrankung schwerer wird und früher auftritt. Die sehr schweren und frühen Formen der Myotonen Dystrophie 1 werden aber zumeist nur von Müttern vererbt.

Erkrankung	Triplet-Repeat
Normalallel	Bis 34 Wiederholungen
Prämutationsallel, meiotisch instabil	35-50
Milde und späte Symptomatik	51-150
Schwere und frühe Symptomatik	>150
Kongenitale Form, Manifestierung bei Geburt	>2000

Verändert nach <https://www.mgz-muenchen.de/erkrankungen/diagnose/myotone-dystrophie-typ-1-dm1.html>

Die molekulare Ursache der Erkrankung ist die Anhäufung falscher RNA-Transkripte im Zellkern. Durch die Mutation des Gens kommt es zum einen dazu, dass das transkribierte DMPK-Gen nicht translatiert werden kann. Das Gen DMPK kodiert eigentlich für eine Proteinkinase, welche über Zwischenstufen die Konformation eines Zielproteins beeinflusst und somit auch dessen Funktion. Darüber hinaus kommt es zum Verlust von Chloridkanälen in der Muskelzellmembran. Alle beeinflussten Prozesse hängen auf unterschiedlicher Weise mit Struktur und Funktion von Muskeln zusammen. Zum anderen kommt es durch die Mutation des Gens zur Anhäufung von prä-mRNA im Zellkern. Dies führt zu weiteren Regulationsstörungen im Zellkern. Langfristig hat dies auch Auswirkung auf die Regulation der Biogenese anderer zellulärer Gene.

**Intention der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler entwickeln Bewertungskompetenz an dem Fallbeispiel der Myotonen Dystrophie Typ 1.

- Myotone Dystrophie Typ 1: dieser Fall aus 2019 ist interessant, da die Ethikkommission der PID zunächst nicht zugestimmt hat. Sowohl das Münchner Verwaltungsgericht und der Bayerische Verwaltungsgerichtshof wiesen die Klage der Eltern ab. Das Bundesverwaltungsgericht in Leipzig hingegen entschied zugunsten der Mutter (vgl. <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/sw/PID?s=&p=1&n=1&nid=118073>).
- Neben dem dargestellten Beispiel kann die Lerneinheit auch am Beispiel anderer Erkrankungen bearbeitet werden, z. B. genetisch bedingter Brustkrebs, Duchenne Muskeldystrophie, Chorea Huntington. Informationen zu diesen Erkrankungen sind dem Internet oder Fachliteratur zu entnehmen.

**Im Lernkontext ankommen:** Die Lerneinheit wird durch einen Lehrervortrag (M1) eingeführt, in dem ein konkretes Fallbeispiel zum Auftreten der Myotonen Dystrophie Typ 1 innerhalb einer Familie beschrieben wird.

Alternativ ist es möglich, mit einem Medienbericht oder einer kurzen Filmsequenz zu dieser Erkrankung zu beginnen (vgl. Quellen). Schülerinnen und Schüler sammeln Fragen zu dem vorliegenden Fall (Zettelkasten). Zur Klärung fachlicher Fragen können Schülerinnen und Schüler Informationen (M2) erhalten. In Partnerarbeit beantworten die Lernenden ihre Fragen gegenseitig. Offene Fachfragen werden ans Plenum bzw. an die Lehrkraft gegeben.

**Vorstellungen entwickeln:** Die Lehrkraft stellt die Frage in den Raum, ob in diesem Fallbeispiel den Eltern die Zustimmung zu einer PID erteilt werden sollte. Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, auf einer „lebenden Skala“ eine Position „Ja – Unsicher – Nein“ zu beziehen (vgl. Themenfeld 9, Methodenkoffer). Schülerinnen und Schüler begründen ihre jeweilige Position, dabei werden Pro- und Kontra-Argumente deutlich. Diese sind beispielhaft für mögliche Sichtweisen in unserer Gesellschaft.

**Lernprodukt erstellen:** Um eine Diskussion führen und eine eigene Meinung bilden zu können, sammeln Schülerinnen und Schüler Argumente aus verschiedenen Perspektiven. Dazu werden Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen mit verschiedenen Rollen eingeteilt, die verschiedene Sichtweisen vertreten, wie z. B.

- Kirchenvertreterinnen und Kirchenvertreter
- Mitarbeiter einer Krankenversicherung
- Familienangehörige
- Alleinerziehende Elternteile

- Medizinerinnen und Mediziner
- Lehrkraft einer Förderschule
- Unternehmerinnen und Unternehmer eines Arzneimittelbetriebs
- Mensch mit einer erblichen Erkrankung oder Behinderung
- Integrationshelferinnen und Integrationshelfer
- ...

In diesen Kleingruppen sammeln Schülerinnen und Schüler Argumente für und gegen die Zustimmung zur PID aus der Perspektive ihrer Rolle, z. B. auf einer Karteikarte. Damit können sich Schülerinnen und Schüler ihrer Rolle bewusst werden.

**Lernprodukt diskutieren:** Das Lernprodukt soll in Form einer „Fish-bowl“ (vgl. Themenfeld 9, Methodenkoffer) vorgestellt werden. Von jeder Kleingruppe sitzt eine Sprecherin oder ein Sprecher im Kreis. Außerdem gibt es einen leeren Stuhl, wenn einer der Zuhörenden etwas zur Diskussion beitragen möchte. Eine Schülerin oder ein Schüler übernimmt die Moderation. In diesem Kreis soll nun diskutiert werden, ob den Eltern in diesem Fallbeispiel die PID erlaubt werden sollte oder nicht. Die übrigen Mitschülerinnen und Mitschüler sind die Zuhörenden der Diskussion. Sie haben die Aufgabe, die genannten Pro- und Kontra-Argumente zu notieren und dem Wertepool zuzuordnen. Dies kann auch arbeitsteilig erfolgen, so dass die Protokollierenden jeweils Werte zugeordnet bekommen und nur die zugehörigen Pro- und Kontra -Argumente notieren. Dazu dient der Arbeitsauftrag im Material (M3). Die Lehrkraft sollte vor Beginn der Diskussion sicherstellen, dass alle Begriffe des Wertepools den Protokollantinnen und Protokollanten bekannt sind. Während die Protokollanten sich in ihren Arbeitsauftrag einlesen, bereiten die Diskutierenden sich auf ihre Rolle vor. Nach der Diskussion werden die Argumente gesammelt und für alle Schülerinnen und Schüler sichtbar gemacht.

**Lernzugewinn definieren und anwenden:** Bevor Schülerinnen und Schüler ihr individuelles, abschließendes Urteil fällen, entscheidet jede oder jeder für sich selbst, welche Werte für sie oder ihn besonders wichtig sind (M4). Dazu sammelt jede und jeder die genannten Argumente, die zu ihren individuellen Werten genannt wurden und gewichtet sie. Nach dieser individuellen Auswertung sind alle Schülerinnen und Schüler aufgefordert, ihr eigenes Urteil zu verfassen. Für ein „Vorher-Nachher-Erlebnis“ wird die „lebende Skala“ nochmals durchgeführt. Im Plenum werden einzelne Schülerinnen und Schüler zur Reflexion der ggf. veränderten Entscheidung aufgefordert.

**Vernetzen und transferieren:** Die Kompetenz des Bewertens kann an vielen anderen Beispielen aus dem Bereich der Medizinethik, aber auch z. B. aus dem Bereich des Umweltschutzes erprobt und vertieft werden.



Quellen:

<https://www.mgz-muenchen.de/erkrankungen/diagnose/myotone-dystrophie-typ-1-dm1.html>

<https://www.medizinische-genetik.de/diagnostik/humangenetik/erkrankungen/syndrome/muskelerkrankungen/myotone-dystrophie-typ-1>

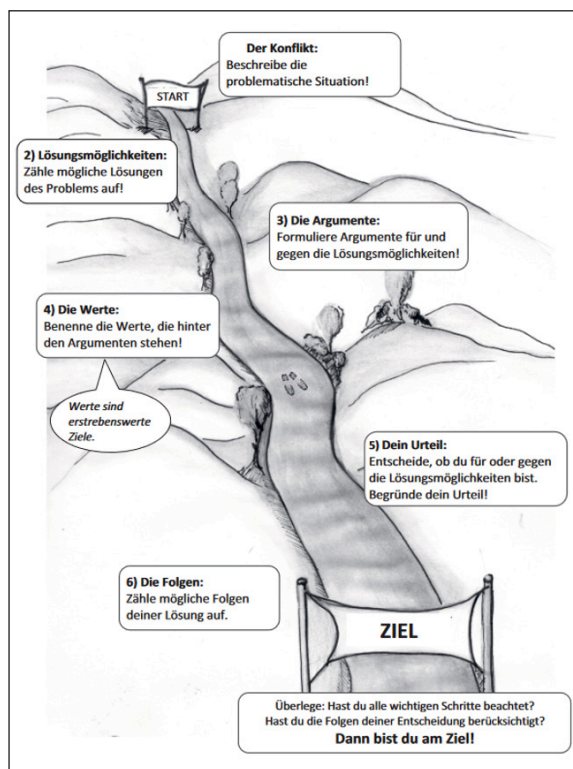
[https://de.wikipedia.org/wiki/Myotone\\_Dystrophie\\_Typ\\_1](https://de.wikipedia.org/wiki/Myotone_Dystrophie_Typ_1)

[https://www.genetikum.de/de/genetikum/Infothek/infothek\\_detail.php?oid=269&p=4&dtl=Myotone+Dystrophien&k=Genetische+Instabilität+bei+Myotoner+Dystrophie+Typ+1+und+Typ+2](https://www.genetikum.de/de/genetikum/Infothek/infothek_detail.php?oid=269&p=4&dtl=Myotone+Dystrophien&k=Genetische+Instabilität+bei+Myotoner+Dystrophie+Typ+1+und+Typ+2)

[https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4-wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/12343/file/Larsen\\_genetische\\_Heterogenität\\_Muskeldystrophien.pdf](https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4-wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/12343/file/Larsen_genetische_Heterogenität_Muskeldystrophien.pdf)

[https://www.orpha.net/consor4.01/www/cgi-bin/Disease\\_Genes.php?lng=DE&data\\_id=15878&MISSING%20CONTENT=DMPK&search=Disease\\_Genes\\_Simple&title=DMPK](https://www.orpha.net/consor4.01/www/cgi-bin/Disease_Genes.php?lng=DE&data_id=15878&MISSING%20CONTENT=DMPK&search=Disease_Genes_Simple&title=DMPK)

**Exemplarisches Onlinematerial:**



© Anneke Vogel, Hamburg 2019.

Abb. 11: Wegweiser und Bewertungsscheibe zum eigenen Urteil (<https://bildungsserver.hamburg.de/contentblob/13020154/739f5d8422d08a4d1acba66b05be7b9d/data/urteilskompetenz.pdf>)

### 3.3 Kontext 3: Biowissenschaften und nachhaltige Entwicklung

Das exponentielle Wachstum der Weltbevölkerung nimmt Einfluss auf die Lebensgrundlagen aller Lebewesen. In immer kürzerer Zeit verändert sich die Qualität von Boden, Luft, Wasser sowie die Artenvielfalt und das Klima. Die Aufgaben, die sich aktuell und in naher Zukunft daraus ergeben, berühren sowohl ethische, politische, soziale und naturwissenschaftliche Fragestellungen. Die Vereinten Nationen haben Zielsetzungen für nachhaltiges Handeln definiert unter <https://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf> (ab Seite 15).



Abb. 12: SDG-Poster (© Vereinte Nationen)

In der ersten Lerneinheit tragen Schülerinnen und Schüler ihr derzeitiges Vorwissen zusammen und erkennen die Rolle der Biowissenschaften für die Lösung anstehender Probleme. Das globale Ziel „Kein Hunger“ fokussiert auf die Produktion der Nahrung. Hier setzt die Lerneinheit 2 an. Der Bedarf an pflanzlicher Nahrung wird in nächster Zeit rasant steigen. Pflanzenzucht, Anbau, Erntebedingungen und Lagerung werden optimiert werden. Durch Zuchtwahl werden Eigenschaften von Nahrungspflanzen wie Weizen oder Reis verändert, z. B. der Wasser- und Düngerbedarf oder die Abwehr gegen Fäulniserreger und Parasiten oder die Empfindlichkeit während Transport und Lagerung. Diese Veränderungen führen zu einer Mengensteigerung verfügbarer Nahrung. Die traditionelle Pflanzenzucht durch Zuchtwahl benötigt Zeit und Fläche. Durch Genome Editing (deutsch: Genom-Editierung) z. B. die CRISPR/Cas-Technik, kann die Zeit abgekürzt werden. Gene, die für eine ausgewählte Eigenschaft codieren, können auf Pflanzen derselben Art, welche die Eigenschaft nicht haben, übertragen werden. Ein Beispiel ist die Resistenz gegenüber Pilzkrankungen bei Reis oder Weizen. Die (neue) CRISPR/Cas-Technik wird im Kapitel: Methodenkoffer, Modelle für molekulare Werkzeuge erklärt. Das Ergebnis der Pflanzenzucht mittels CRISPR/Cas-Technik ist das gleiche wie mit traditioneller Züchtung, wird aber viel schneller erreicht.

Ergänzende Lehrerinformation:

Am 25. Juli 2018 entschied der EuGH (Europäischer Gerichtshof), dass die neuen Genome-Editing-Verfahren als Gentechnik anzusehen sind und den gleichen Zulassungs- und Kennzeichnungsvorschriften unterliegen wie gentechnisch veränderte Organismen (GVO). Dies verzögert indirekt die Verwendung der CRISPR/Cas-Technik in der Praxis. In den USA wird die Technik als konventionelle Zuchtmethod bewertet, da nur arteigene Gene übertragen werden.

Mittels CRISPR/Cas können auch Gene des Menschen verändert werden. Die somatische Gentherapie, z. B. bei Muskeldystrophie, nutzt die Möglichkeit, ein mutiertes Gen herauszuschneiden und durch das nicht mutierte zu ersetzen. Kranke erhalten somit die einzige Möglichkeit einer Therapie. Ethisch bedenklich ist, wenn die Technik auch an Embryonen durchgeführt würde (vgl. Kontext 2: Reproduktionsmedizin). Eingriffe in die menschliche Keimbahn oder die Verwendung menschlicher Embryonen für die wissenschaftliche Forschung sind in Deutschland und 13 weiteren europäischen Ländern verboten.

Das mächtige molekulare Werkzeug ermöglicht auch die Übertragung von Genen von einer Art auf eine andere. Auch die Erzeugung der so genannten chimären Organismen ist ethisch bedenklich.

<https://www.mpg.de/13501278/genom-editierung-stellungnahme-mpg>

Ergänzende Medien:

- Hilft die grüne Gentechnik gegen den Klimawandel? (3 Minuten)  
[https://www.youtube.com/watch?v=T7bUa\\_cS5eE](https://www.youtube.com/watch?v=T7bUa_cS5eE)
- Das Spiel mit den Genen (28 Minuten)  
[https://www.youtube.com/watch?v=p\\_elXmMs3Ek](https://www.youtube.com/watch?v=p_elXmMs3Ek)
- CRISPR - Revolution im Genlabor (44 Minuten)  
<https://www.youtube.com/watch?v=OhKEcfQflqs>

## LE 1: Die globalen nachhaltigen Entwicklungsziele (Sustainable Development Goals, SDGs) der UN

Onlinematerial:

Bio\_TF11\_K3\_LE1\_M1\_GlobalGoals der UN\_Entwicklung der Weltbevölkerung

Bio\_TF11\_K3\_LE1\_M2\_Global Goals der UN\_Partyszenario

Bio\_TF11\_K3\_LE1\_M3\_Global Goals der UN\_nachhaltige Entwicklung

**Hinweis:** Diese Lerneinheit lässt sich als Projekt unter Beteiligung der Fächer Erdkunde, Ethik, Religion und der MINT-Fächer umfassender und tiefer bearbeiten.

**Intentionen der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler werten Grafiken zur Entwicklung der Weltbevölkerung aus. In einem Szenario-Ansatz entwickeln sie Vorstellungen zu nachhaltigem Handeln und der Rolle der Biowissenschaften. Dazu wenden sie Vorwissen an.

**Im Lernkontext ankommen:** Was oder wer willst du in 20 Jahren sein? Schülerinnen und Schüler tauschen sich aus. Die Konfrontation mit der Grafik „Entwicklung der Weltbevölkerung“ (M1) führt zur Frage: Wie wird sich die Welt verändern? Halten eure Zukunftsvorstellungen stand?

**Vorstellungen entwickeln:** In einem Partyszenario (M2) tauschen sich Schülerinnen und Schüler zu ihren Vorstellungen über ihr Leben in 20 Jahren aus. Im anschließenden Klassengespräch werden die Eindrücke gesammelt und von der Lehrkraft abstrahiert (siehe Lösungshinweise).

Schülerinnen und Schüler werden dabei Ideen entwickeln, die in Richtung Nachhaltigkeit, aber auch in Richtung „Höher, schneller, weiter“ laufen. Die Diskussion wird verdeutlichen, dass die Ressourcen der Erde endlich sind. Der technische Fortschritt ist nötig, um die Grundbedürfnisse aller Menschen zu befriedigen. Die Vereinten Nationen haben die Grundbedürfnisse kategorisiert und globale Ziele formuliert (M3). Welche Rolle spielen dabei die Biowissenschaften?

**Lernprodukt erstellen:** Die Global Goals (17 Ziele für nachhaltige Entwicklung) werden verteilt, z. B. durch Loskarten. Ziel ist es, alle 17 Ziele kennenzulernen und herauszuarbeiten, zu welchen Zielen das Wissen aus den Biowissenschaften gebraucht wird. Schülerinnen und Schüler arbeiten in Vierergruppen nach der Methode Placemat (20 Minuten). Die Ergebnisse werden der Klasse im Kurzvortrag präsentiert. Dazu wird der gemeinsam erstellte Notizzettel in der Mitte des Placemats genutzt.

**Lernprodukt diskutieren:** Als Post Organizer wird erneut auf die Grafik (M3) Bezug genommen. Mit jedem Kurzvortrag füllt sich das Bild mit konkreten Themen. Der Bezug zu den Biowissenschaften ist oft evident, aber nicht überall. Jedoch gibt es auch in vermeintlich „unbiologischen“ Nachhaltigkeitszielen, z. B. Infrastruktur oder Recht, Bezüge zur Ökologie oder Reproduktionsmedizin und folglich Zusammenhänge mit den Biowissenschaften.

**Lernzugewinn definieren (Sichern):** Die kommentierte Grafik (M3) wird genutzt, um die eingangs formulierten Vorstellungen zu ihrem eigenen Leben in 20 Jahren und die neuen Vorstellungen zu vergleichen.

Mithilfe des Drei-Säulen-Modells der nachhaltigen Entwicklung (Dreieck der Nachhaltigkeit) lassen sich die auf der Party geäußerten Vorstellungen revidieren oder konkretisieren (vgl. Onlinematerial Bio TF5\_Kontext3\_LE6\_Palmöl aus dem Regenwald).

**Vernetzen und transferieren:** Kenntnis und Verständnis der globalen Ziele nachhaltigen Handelns werden fächerverbindend weiter angewendet.

#### Exemplarisches Onlinematerial:

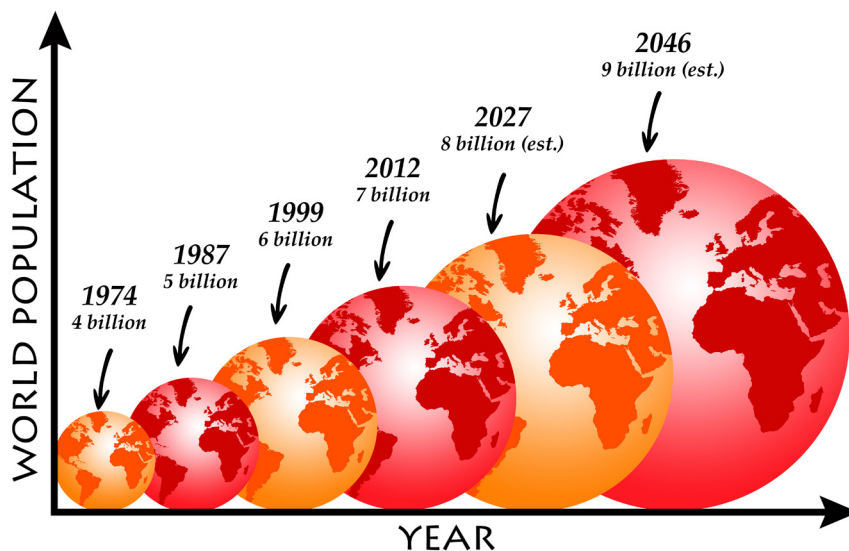


Abb. 13: Entwicklung der Weltbevölkerung, © desdemon72/adobestock.com

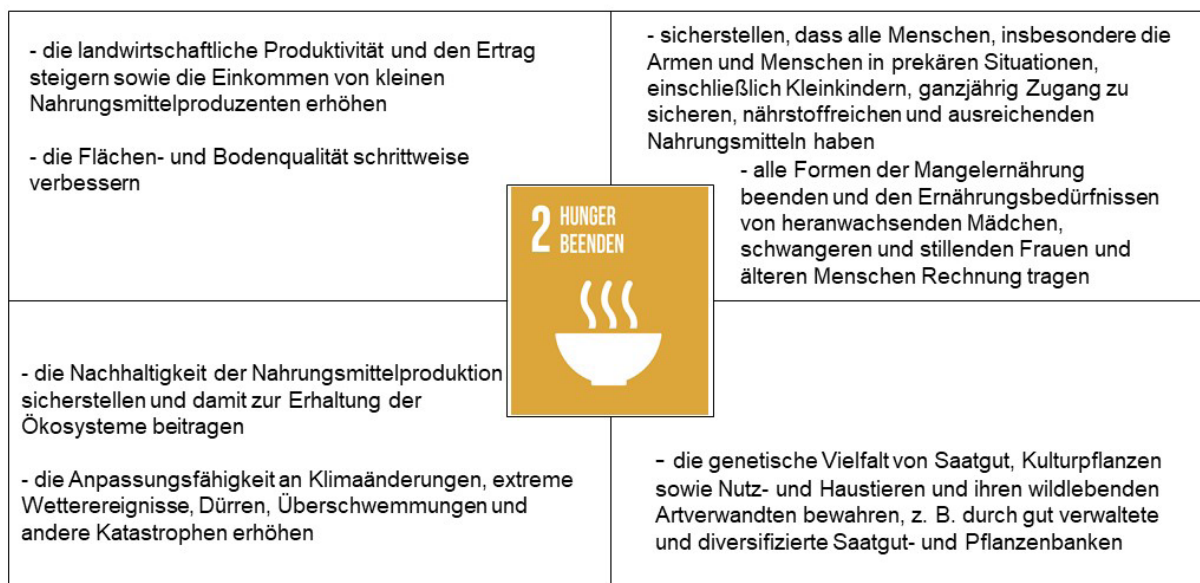


Abb. 14: Globale Ziele, nachhaltige Entwicklung – mögliche Lösung

## LE 2: SDG 2 – Kein Hunger – Intensivierung einer nachhaltigen Landwirtschaft

Onlinematerial:

Bio\_TF11\_K3\_LE2\_M1\_SDG2\_Kein Hunger

Bio\_TF11\_K3\_LE2\_M2a\_SDG2\_Genbasierte Pflanzenzüchtung

Bio\_TF11\_K3\_LE2\_M2b\_SDG2\_Pflanzenzüchtungsmethoden\_Schemata

Bio\_TF11\_K3\_LE2\_M3\_SDG2\_Welche Züchtung ist die richtige

### Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:

Möglichkeiten, den Hunger zu beenden, findet vor allem auf vier Ebenen statt: Intensivierung der Landwirtschaft, Methoden der Nahrungsmittellagerung und des Transports, der gerechten Verteilung und des verantwortungsvollen Umgangs mit Ressourcen (CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, virtuelles Wasser, Flächenverbrauch).

Die Intensivierung der Landwirtschaft bedingt eine zunehmende Belastung von Boden, Luft und Wasser. Das Ziel „Kein Hunger“ steht unter anderem dem Ziel „Klimaschutz“ entgegen. Die derzeitigen Methoden zur Intensivierung der Landwirtschaft durch Massentierhaltung, Monokulturen, Pestizideinsatz, Hochleistungszüchtungen u.a. führen auf Dauer in eine Sackgasse. Nach dem Dreieck der Nachhaltigkeit werden ökologische und soziale Aspekte vernachlässigt.

Dabei ist die Züchtung von regional angepassten Nahrungspflanzen ein bedeutendes Stellglied für die globale Nahrungsmittelversorgung. Die traditionelle Züchtung von Pflanzen dauert viele Jahre. Durch gentechnische Methoden können angepasste Sorten sehr viel schneller entstehen. Gentechnisch hergestellte Nahrungsmittel werden kontrovers diskutiert. Dabei wird übersehen, dass die Gentechnik lediglich molekulare Werkzeuge bereitstellt, die je nach Ziel gebraucht oder missbraucht werden können.

Seit Mitte der 1990er Jahre werden gentechnisch veränderte Organismen (GVO) in immer mehr Ländern und auf immer größeren Flächen angebaut. Nach geltendem EU-Recht ist ein GVO definiert als ein Organismus mit Ausnahme des Menschen, dessen Erbanlagen genetisches Material mittels gen-

technischer Methoden in einer Weise verändert worden ist, wie es unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt. Das ungenehmigte Freisetzen oder Inverkehrbringen eines GVO ist in der EU untersagt. Bei cisgenen Pflanzen stammt das übertragene Gen aus derselben Pflanzenart wie der Empfängerorganismus. Beispiele sind die Resistenz des Apfels gegen Pflanzenkrankheiten wie Apfelschorf und Feuerbrand, die Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule bei der Kartoffel. Bei der Transgenese entstehen gentechnisch veränderte Organismen (GVO), denen Gene von artfremden Organismen gentechnisch übertragen wurden. Transgene Nutzpflanzen sind z. B. Pflanzen, die aufgrund von gentechnischen Veränderungen resistent gegenüber Pflanzenkrankheiten werden oder giftig für bestimmte Schadinsekten sind. Beispiele sind Bt-Baumwolle oder Bt-Mais, Golden rice, Rostpilzresistenz bei Weizen.

In den letzten Jahren sind neue, revolutionäre Verfahren hinzugekommen, die unter dem Begriff Genome Editing zusammengefasst werden. Sie ermöglichen einen gezielten Eingriff in das Genom eines Organismus, auch ohne fremde Gene einzufügen. Verfahren wie CRISPR/Cas funktionieren wie eine „Genschere“, mit der man an genau definierten Stellen im Erbgut Schnitte setzen kann, um einzelne Gene auszuschalten, aber auch defekte DNA-Teile ersetzen oder neue Gensequenzen in einen Organismus einfügen kann. Einzelne Sequenzen des Genoms werden „umgeschrieben“, indem sie zellinterne Reparaturmechanismen nutzen.

Damit wird eine eindeutige Unterscheidung zwischen konventionellen und GVO zunehmend erschwert. Veränderungen im Erbgut lassen sich später nicht mehr als gezielt eingebracht nachweisen, da Pflanzen entstehen, die sich theoretisch auch zufällig und ohne menschliches Zutun oder mit konventioneller Züchtung hätten herausbilden können. Mit dem zunehmenden Einsatz dieser Methoden steigt die Wahrscheinlichkeit einer unkontrollierten Verbreitung von genveränderten Organismen und von dort eingebrachten genetischen Veränderungen in die Umwelt. In der Gesellschaft wird über die Zulassung von GVO zur Sicherung der Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung sehr kontrovers diskutiert. Eine Auseinandersetzung mit dieser Problematik führt zu einem besseren Verständnis auf biologischer aber auch gesellschaftlicher Ebene.

**Intentionen der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler informieren sich über Möglichkeiten der Pflanzenzüchtung und vergleichen traditionelle und gentechnische Methoden. Dazu entnehmen sie Fachbegriffe aus einem Filmbeitrag (M2a), um damit Schemazeichnungen (M2b) zu erklären.

**Im Lernkontext ankommen:** Das Ziel „Kein Hunger“ aus den Global Goals wird fokussiert. Schülerinnen und Schüler nennen Fleisch und pflanzliche Nahrung (Getreide, Gemüse, Obst) als Grundlage menschlicher Ernährung. Fleisch lässt sich durch pflanzliche Nahrung ersetzen (vgl. Themenfeld 8). Die ausreichende Verfügbarkeit pflanzlicher Nahrung ist die Lösung, um Hunger zu bekämpfen. Aber nicht überall kann alles wachsen: Pflanzen brauchen Wärme, Wasser und geeignete Licht- und Bodenverhältnisse. Diese Problematik wird durch den Film Klimawandel (M1) <https://youtu.be/mr82U9h7U2U> anschaulich transportiert. Die Leitfrage ist: „Wie lassen sich optimal angepasste Pflanzen züchten?“

**Vorstellungen entwickeln:** Schülerinnen und Schüler nennen Herausforderungen der Pflanzenzüchtung wie z. B. Einführung neuer Eigenschaften (Resistenz gegenüber Pflanzenschädlingen, klimawandelbedingte Merkmale wie Toleranz gegenüber Hitze, Trockenheit oder Frost) oder die Beschleunigung des Züchtungsprozesses. Sie reaktivieren ihr Vorwissen zur Züchtung über Zuchtwahl (Mutation, Selektion, Reproduktion) und stellen Bezüge zu Themenfeld 2 und Themenfeld 10 (Kreuzungsquadrat) her. Sie nen-



nen Gentechnik als Möglichkeit der Einflussnahme auf den Prozess. Dabei entwickeln sie Fragen zum Unterschied von konventioneller Züchtung und gentechnischer Züchtung. Es wird klar, dass eine Wissenslücke über gentechnische Methoden der Pflanzenzüchtung besteht. Fragen werden gesammelt:

- Wie funktioniert Pflanzenzüchtung (ohne Gentechnik)?
- Wie funktioniert gentechnische Pflanzenzüchtung?
- Gibt es Gefahren für die Umwelt oder gesundheitlicher Art?
- Was ist erlaubt?
- Wo werden gentechnische Verfahren schon eingesetzt?
- Gibt es Beispiele aktueller Forschung?
- Woran kann ich gentechnisch hergestellte Nahrungsmittel erkennen?

**Lernprodukt erstellen:** Mithilfe des Filmes „Gentechnik – CRISPR/Cas+Co.“ von Planet Schule <https://www.planet-schule.de/sf/php/sendungen.php?sendung=10825> (M2a) erarbeiten sich Schülerinnen und Schüler in Partnerarbeit einen Überblick über die Chancen und Risiken einer Landwirtschaft, die molekulargenetische Werkzeuge nutzt. Sie stellen sich klassische und moderne Pflanzenzüchtungsmethoden mithilfe von Schemata (M2b) vor.

**Lernprodukt diskutieren:** Schülerinnen und Schüler erkennen die Vorteile der Nutzung moderner Züchtungsmethoden (genbasierte Selektion, präziser, gezielter Eingriff ins Genom, Verkürzung der Züchtungszeit). Sie erfahren, dass die modernen Züchtungsmethoden auch Gefahren und Risiken bergen (Langzeiterfahrungen, Nebeneffekte, Ökosystem, Biodiversität). Nach jedem Vortrag werden Fachbegriffe, Erkenntnisse und offene Fragen gesammelt. Dabei entsteht ein gemeinsam erstellter Post Organizer, z. B. in Form einer Pro-Kontra-Liste.

**Lernzugewinn definieren (sichern):** Schülerinnen und Schüler greifen auf die Leitfrage zurück: Wie lassen sich optimale Pflanzen züchten? Sie recherchieren individuell im Internet nach einem Beispiel für genbasierte Pflanzenzüchtung. Die Recherche kann durch eine Vorauswahl von Links unterstützt und durch Fragen angeleitet werden. Die Ergebnisse werden als „Steckbrief“ an einer Pinwand oder in digitaler Form als Taskcards visualisiert.

**Vernetzen und transferieren:** Das Verständnis von Genome Editing versetzt Schülerinnen und Schüler in die Lage, Chancen und Risiken bei der Anwendung von gentechnischen Methoden in der Pflanzenzüchtung zu erkennen. Bei einer Positionierung auf z. B. einer „Lebenden Skala“ können kontroverse Positionen deutlich werden.

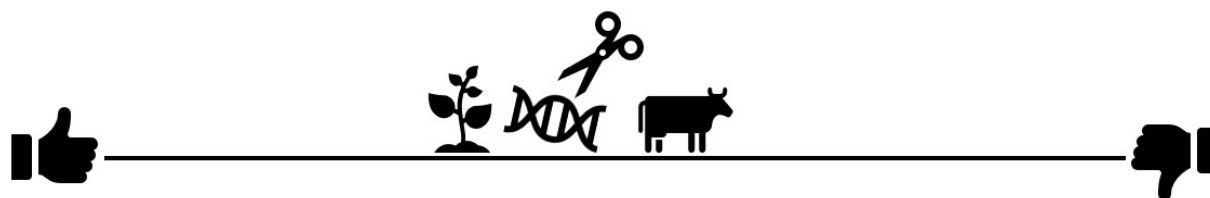


Abb. 15: Lebende Skala zum Thema Gentechnik

**Pro-Argument:** Es zählt, dass niemand mehr Hunger hat. Wir brauchen Nutzpflanzen, die einen hohen/ noch höheren Ertrag liefern, hitzetolerant und schädlingsresistent sind und die Umwelt nicht zusätzlich belasten (Düngung).



**Kontra-Argument:** Wir wollen keine Gentechnik-Pflanzen! Mit den neuen Technologien entstehen völlig neue Lebewesen. Wir wissen nicht, wie sie die Umwelt verändern.

Es ist Ziel der Lerneinheit, diese als einen Teil von Meinungsvielfalt in der Gesellschaft akzeptieren zu lernen.

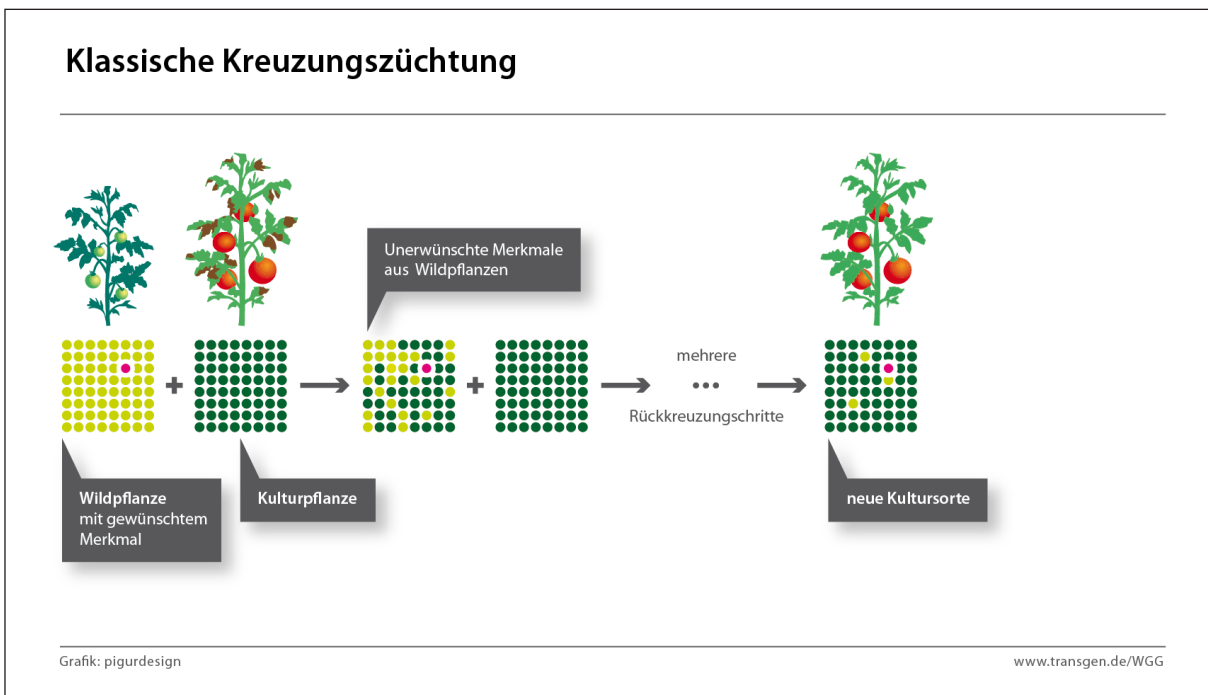
Das Vorgehen zur Schulung von Bewertungskompetenz (Lebende Skala, Pro- und Kontra-Tabelle, Argumentgewichtung und Folgenreflexion) kann in einem neuen Kontext wieder angewendet werden. Dabei können Beispiele aus der roten, weißen, grünen Gentechnik verwendet werden. Es bietet sich eine Bezugnahme auf die Lerneinheit „Myotone Dystrophie Typ 1“ im Kontext 2 an.

Ergänzendes Material:

WELT MACHT HUNGER, ein praxisorientiertes Planspiel im Bereich des Globalen Lernens

- Das Buch und die Spielbox sind bei verschiedenen Medienzentren (inMIS-Signatur 7044109: <https://inmis.bildung-rp.de/detailKundenmedien.asp?medium=36289>) sowie im Pädagogischen Landesinstitut im Verleih.
- Das Material für das Planspiel (u. a. Kopiervorlagen für die Spielkarten), das Buch und die Spielanleitung können kostenlos auf dem Portal Globales Lernen (<https://www.globaleslernen.de/de/bildungsmaterialien/alle/welt-macht-hunger-das-praxisorientierte-bildungsprogramm-mit-planspiel>) heruntergeladen werden.

**Exemplarisches Onlinematerial:**



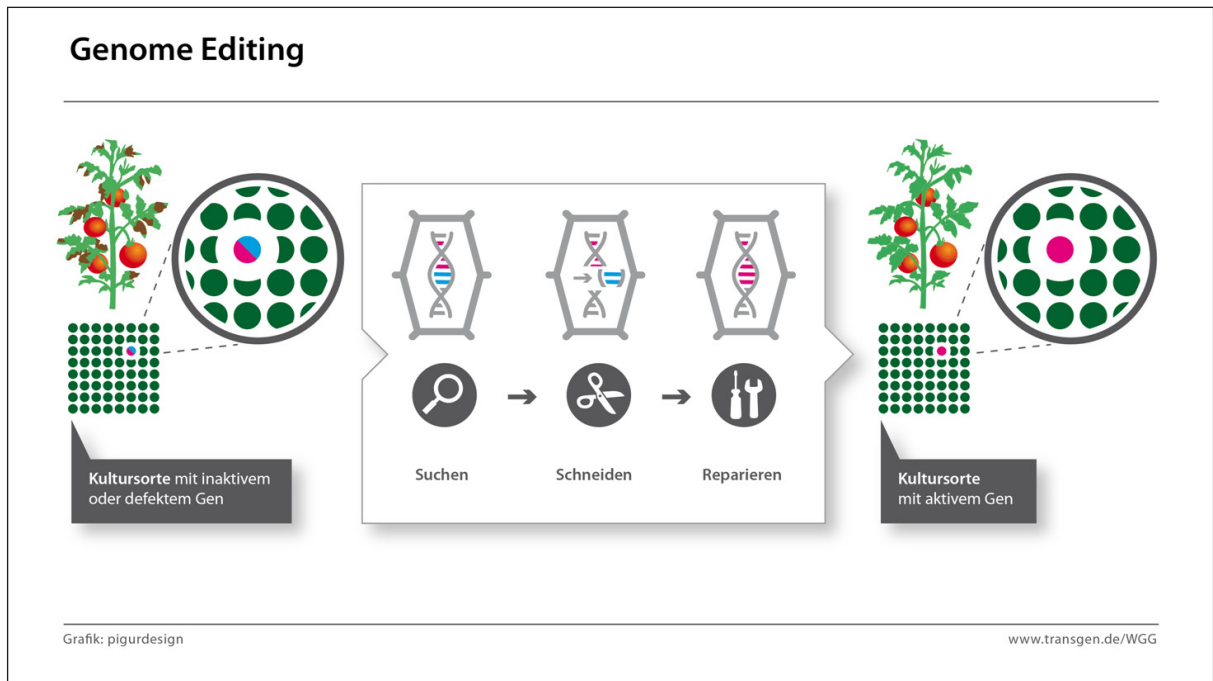


Abb. 16: Zwei (von fünf) Schemata „Verfahren der Pflanzenzüchtung“ (© transgen.de)

### 3.4 Kontext 4: Von der Antibiotikaresistenz zur Genschere

#### LE 1: Phagen – eine Alternative zum Antibiotikum?

Onlinematerial:

Bio\_TF11\_K4\_LE1\_M1\_Bakteriophagen\_Versuche von d'Herelle\_ppt

Bio\_TF11\_K4\_LE1\_M1a\_Bakteriophagen\_Vorwissen und Fragen

Bio\_TF11\_K4\_LE1\_M2\_Bakteriophagen\_Bildertisch\_ppt

Bio\_TF11\_K4\_LE1\_M2a\_Phagen – eine Alternative zum Antibiotikum

Bio\_TF11\_K4\_LE1\_M2b\_Bakteriophagen\_Dokumentation\_Webquest

Bio\_TF11\_K4\_LE1\_M3\_Bakteriophagen\_Üben und Anwenden

#### Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:

Die WHO warnt, dass eine postantibiotische Ära – in der gewöhnliche Infekte zum Tod führen können – längst keine apokalyptische Fantasie mehr sei, sondern eine reale Gefahr darstellt. In abgemilderter Form äußert sich der Deutsche Ethikrat.

Multiresistente Bakterien (MRE) gehören zu den größten Herausforderungen in der Infektionsmedizin. Neue Strategien für die Behandlung von Infektionen sollen ohne Antibiotika auskommen. Eine Möglichkeit ist die Behandlung von Wundinfektionen durch Bakteriophagen.

Bakteriophagen sind hochspezifische Viren, die Bakterienzellen infizieren und zur Auflösung der Zellen führen. Ein mit Phagen infizierter Bakterienrasen weist – ähnlich wie beim Antibiotikum – Löcher auf. Die Entdeckung der Bakteriolyse durch Phagen gelang Felix Hubert d'Herelle 1915.

Erst nachdem Ernst Ruska 1931 das Transmissionselektronenmikroskop konstruiert hatte, konnte sein Bruder Helmut Ruska 1939 Bakteriophagen beobachten.

Weiterführende Informationen:

- <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/71627/Deutscher-Ethikrat-Zeit-fuer-Reflexion-uber-kein-post-antibiotisches-Zeitalter>
- <https://www.aerzteblatt.de/archiv/210686/Infektionstherapie-Auf-der-Suche-nach-Alternativen>
- <https://scienceblog.at/index.php/ein-comeback-der-phagentherapie>

Die erste Anwendung durch d'Herelle bei der Bekämpfung der durch Salmonellen verursachten Rinderseuche brachte Erfolg. Phagen sind auf ihre Wirtszellen hoch spezialisiert. Somit ist es nicht leicht, die passenden Phagen für bestimmte Erreger zu finden und zu vermehren. Mit der Entdeckung des Penicillins 1928 kam die medizinische Phagenforschung in Westeuropa zum Stillstand.

Die Lerneinheit bindet an Vorwissen aus Themenfeld 9 (Krankheitserreger erkennen und abwehren) an. Schülerinnen und Schüler kennen die hemmende Wirkung von Antibiotika auf das bakterielle Wachstum und die Grenzen der therapeutischen Anwendung durch Bildung von Resistenzen. Die Wirksamkeit eines Antibiotikums zeigt sich durch Zersetzung von Bakterien (Lyse), „Löcher“ im Bakterienrasen. Umgekehrt zeigt sich die Unwirksamkeit durch einzelne Bakterienplaques auf einem mit einem Antibiotikum getränkten Filterpapier.

**Intention der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler erklären die Wundbehandlung mithilfe von Bakteriophagen. Dazu werten sie Versuche aus und interpretieren sie auf verschiedenen Systemebenen.

**Im Lernkontext ankommen:** Verletzungen und Wundversorgung gehören zur alltäglichen Erfahrung. Im Klassengespräch (ggf. unter Verwendung von Bildimpulsen) tauschen sich Schülerinnen und Schüler darüber aus: Eine gute Wundversorgung bietet Schutz vor Infektionen. Infektionen führen zu eitrigen Wunden, zu Schwellungen, lokaler Temperaturerhöhung, zu Fieber oder Blutvergiftung (Sepsis).

Eitrige Wunden werden antibiotisch behandelt. Antibiotika verhindern die Zellteilung der Bakterien. Werden die Infektionen durch resistente Erreger hervorgerufen, wirken herkömmliche Antibiotika nicht. Im „Wettlauf mit den Keimen“ werden neue Antibiotika entwickelt, aber auch gegen diese werden sich mit der Zeit wieder Resistenzen entwickeln (siehe auch Onlinematerial Bio\_TF9\_LE3-5).

Parallel dazu wird nach Alternativen zu Antibiotika geforscht. Eine Möglichkeit ist die Phagentherapie.

Medientipp: <https://www.youtube.com/watch?v=fmPK932Tado>

- Bilder oder der eingebettete Film(-ausschnitt) zeigen aktuelle Beispiele aus der Phagentherapie und geben Impulse für das Klassengespräch.

Mittels Lehrervortrag (M1\_Versuche von d'Herelle\_ppt) wird die Entdeckung der Phagentherapie durch Felix Hubert d'Herelle vorgestellt. Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, während des Vortrags Notizen in Form eines Forschungsprotokolls zu machen. Sie sollen dabei die Perspektive d'Herelles annehmen.

Eine Leitfrage wird entwickelt, z. B. „Was passiert bei der Phagentherapie?“

**Vorstellungen entwickeln:** Schülerinnen und Schüler entwickeln vertiefende Fragen oder stellen Vermutungen an. Die Fragen lassen sich als sogenannte „W-Fragen“ (siehe Themenfeld 1) formulieren: Was sind Phagen? Wie oder auf welche Weise fressen Phagen Bakterien? Warum entstehen Löcher im Bakterienrasen? Wie groß sind Phagen? Wo findet man Phagen? Wie funktioniert die Phagentherapie? Wie effektiv ist die Phagentherapie? Welche Nebenwirkungen sind zu erwarten? In welcher Form hat d'Herelle das Rinderseuchenmedikament verabreicht? Die Fragen oder Vermutungen können als Mindmap visualisiert, in Kartentechnik geclustert oder als Tabelle strukturiert werden. So lassen sie sich als Instrument für die Lernprozessbegleitung nutzen.

**Lernprodukt erstellen:** Die Fragen werden auf die Schülerinnen und Schüler verteilt. Die Antwort präsentieren sie mithilfe ausgewählter Bildkarten (M2\_Bildertisch\_Bakteriophagen\_ppt). Ziel ist es, die Gesamtheit der Bildkarten für die Erklärung der Phagentherapie zu nutzen. Zur Lösung der Fragen kann differenzierend ein Text oder Textkarten zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich können „Gedächtnisanker“, z. B. Abbildungen aus dem Schulbuch zum Thema Viren genutzt werden.

**Lernprodukt vorstellen/diskutieren:** Schülerinnen und Schüler präsentieren die Antworten auf die Fragen, die sie ausgewählt haben oder die ihnen zugelost worden sind. Das diskursive Potenzial steckt in der Auswahl der Folien und der Vielzahl verschiedener Fragekarten mit verschiedenen Antworten.

**Lernzugewinn definieren:** Folgende Aufgaben zeigen den individuellen Lernstand:

1. Hake in der Frageliste (Mindmap oder Tabelle) ab, welche Fragen du nun beantworten kannst.
2. Interpretiere die Versuchsergebnisse von d'Herelle.
3. Fülle die Tabelle (M1a\_Vorwissen und Fragen) und notiere ggf. offene Fragen.
4. Felix Hubert d'Herelle und Alexander Fleming entdeckten die Phagen bzw. das Antibiotikum „Penicillin“ durch Zufall. Beide Forscher züchteten Bakterien in Petrischalen. Skizziere die Versuche, beschreibe jeweils das Ergebnis und interpretiere es (M3\_Üben und anwenden).

**Vernetzen und Transferieren:** Schülerinnen und Schüler knüpfen an den Versuch von d'Herelle an und führen den Erkenntnisgang fort. Nicht in allen Versuchsansätzen kommt es zur vollständigen Lyse der Bakterien. Statistisch finden sich wenige Bakterien, die nicht von Phagen zersetzt werden. Diese Bakterien besitzen Gene, welche die Phagen-DNA oder Phagen-RNA nach Injektion des Phagengenoms „zerschneiden“. Damit wird eine Vermehrung der Phagen in der Bakterienzelle vermieden. Die Bakterien verfügen somit über einen Immunmechanismus.

**Exemplarisches Onlinematerial:**

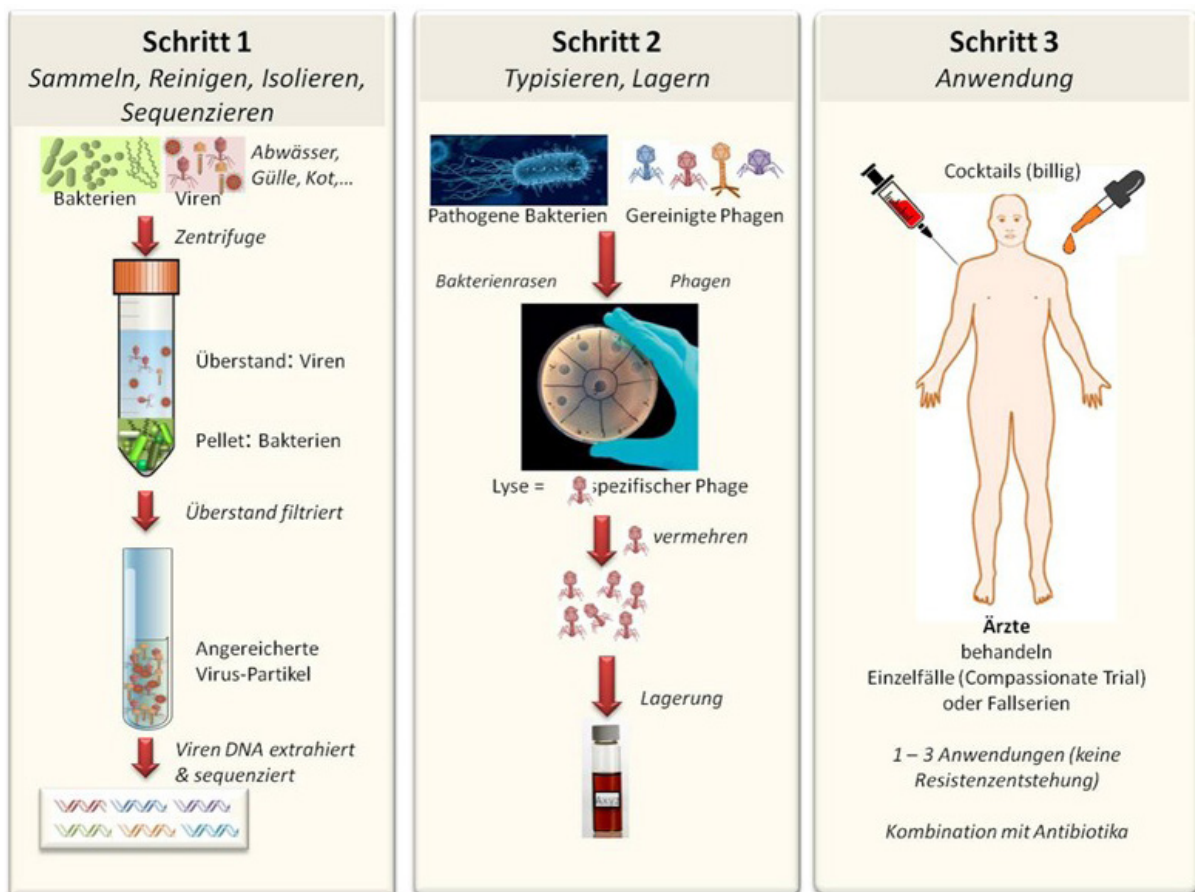


Abb. 17: Folie 12 aus Bio\_TF11\_K4\_LE1\_M2\_Bildertisch Bakteriophagen\_ppt (Karin Moelling. 2019. Ein Comeback der Phagentherapie?, <https://scienceblog.at/ein-comeback-der-phagentherapie>)

## LE 2: Bakterien wehren sich gegen Phagen – Genome Editing mit CRISPR/Cas

Onlinematerial:

Bio\_TF11\_K4\_LE2\_M1\_Gedankenexperiment

Bio\_TF11\_K4\_LE2\_M2\_Genome Editing mit CRISPR/Cas9

<https://www.max-wissen.de/max-hefte/biomax-35-genome-editing-mit-crispr-cas9-2/>

Film Max-Planck-Gesellschaft: Gen-editing mit CRISPR/Cas9 (Ein Skalpell für das Erbgut)

<https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI>

### Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:

Bakterien sind ständigen Angriffen durch Bakteriophagen, einer Gruppe von Viren, ausgesetzt. Denn diese sind nicht in der Lage, sich eigenständig zu vermehren. Sie müssen einen anderen Organismus „kapern“, in den sie ihr Erbgut einschleusen können. Die vom Phagen eingeschleusten Fremdgene programmieren das Genom des Wirtes um: Das Bakterium produziert nun keine Proteine mehr für sich selbst, sondern wird zu einer kleinen „Phagenfabrik“. Sie arbeitet so lange auf Hochtouren, bis die Bakterienzelle voller Phagen ist und platzt, sodass die Phagen freigesetzt werden. Das Platzen der Bakterienzellen wird als „Löcher“ auf einem Bakterienrasen (Mikrofilm) sichtbar.

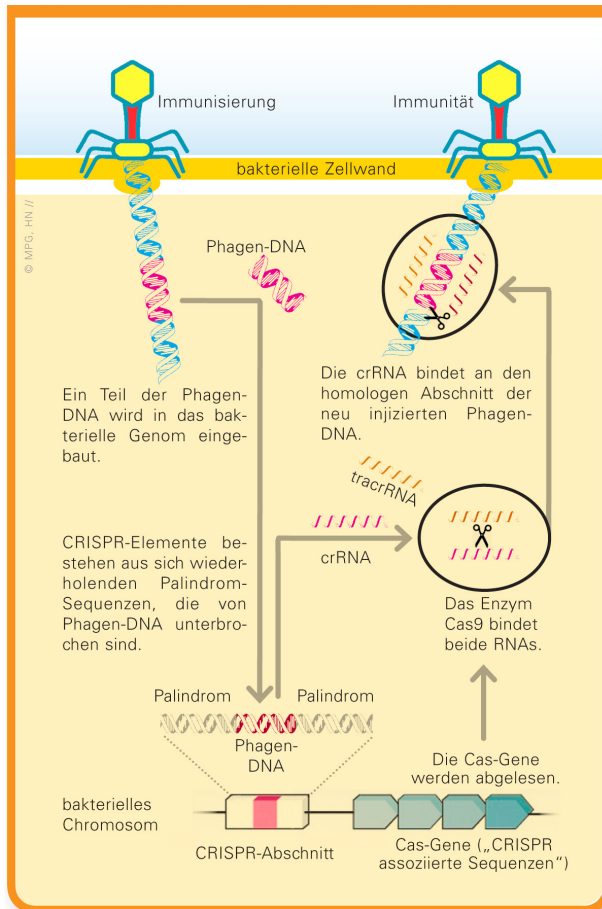
Bakterien haben Abwehrmechanismen entwickelt, um sich gegen solche Infektionen zu wehren. Wenn die Enzyme eines Bakteriums es schaffen, die injizierte Virus-DNA in kleine Stücke „zu schneiden“, dann kommen andere Enzyme hinzu und bauen diese Fragmente in den sogenannten „CRISPR-Abschnitt“ im bakterieneigenen Genom ein. Die seltsam aufgebauten Sequenzen stellen somit eine „Erinnerung“ an zurückliegende Virusinfektionen dar. Es ist eine Art „Bibliothek“ sämtlicher Erreger, mit der das Bakterium schon konfrontiert worden ist. Und diese Bibliothek kann es sogar an seine Nachkommen (Tochterzellen) weitergeben. Im Experiment zeigt sich dies durch den Wiederbewuchs eines Bakterienrasens nach einer Phageninfektion.

Für die Phagen-Therapie bedeutet es, dass bakterizide Wirkung von Phagen nur eine begrenzte Zeit wirksam sein wird – solange, bis die Immunität aufgebaut ist. In der Praxis werden Mischungen aus vielen Phagentypen für die Therapie herangezogen. Außerdem mutieren auch Phagen: Es entstehen spontan immer wieder neue Typen („Ko-Evolution“).

Was ist ein CRISPR-Abschnitt? Im Jahr 1987 stoßen japanische Mikrobiologen bei der Untersuchung von E. coli-Bakterien zum ersten Mal auf ungewöhnliche, sich wiederholende DNA-Sequenzen im Erbgut eines Bakteriums. „Die biologische Bedeutung dieser Sequenzen ist vollkommen unbekannt“, schreiben sie. Wenig später nimmt der spanische Mikrobiologe Francisco Mojica an der Universität von Alicante diese Sequenzen genauer unter die Lupe. Sie lassen sich vorwärts wie rückwärts lesen, wie die Palindrom-Worte „Rentner“ oder „Lagerregal“ in der menschlichen Sprache. Während diese Worte aber durchaus eine Bedeutung haben, ergeben Palindrome im Wortschatz der Genetik keinen Sinn, sie lassen sich nicht in funktionstüchtige Proteine übersetzen.

Mojica nennt diese Sequenzen Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (kurz CRISPR). 2005 entdeckt er, dass sie mit Ausschnitten aus dem Genom eines Bakteriophagen, eines für Bakterien schädlichen Virus, übereinstimmen. Erstmals äußert er die Vermutung, dass CRISPR in Bakterien die Funktion eines adaptiven Immunsystems haben könnte. Zwei Jahre später gelingt einem französischen Wissenschaftler der Firma Danisco bei der Untersuchung von Streptococcus-Bakterien, die zur Herstellung von Joghurt eingesetzt werden, tatsächlich der experimentelle Nachweis: Philippe Horvath und seine Kollegen integrieren Ausschnitte der Phagen-DNA in den CRISPR-Abschnitt und können so tatsächlich die nächste Phagen-Attacke bekämpfen.





Im Jahr 2011 rätselt die französische Mikrobiologin Emmanuelle Charpentier an der Universität Umeå in Schweden darüber, wie der dahinterliegende Mechanismus der Immunabwehr funktioniert. Charpentier findet das letzte Puzzleteil im CRISPR/Cas-System, indem sie eine RNA-Sequenzierung bei einem Streptococcus-Bakterium durchführt und dabei auf zwei kurze RNAs stößt: Das Bakterium schreibt die Fremd-DNA im CRISPR-Abschnitt in ein RNA-Molekül um, CRISPR-RNA (crRNA) genannt. Diese CRISPR-RNA ist somit ein molekularer Steckbrief, sie liefert die Erkennungssequenz, mit der das Enzym Cas9, eine Nuklease, die entsprechende DNA-Sequenz des eingedrungenen Virus aufspürt. Damit Cas9 aktiv werden kann, bedarf es jedoch einer zweiten kleinen RNA, die die Mikrobiologin als trans-aktivierende CRISPR-RNA (tracrRNA) bezeichnet. Erst der Komplex aus crRNA und tracrRNA führt das Cas9-Enzym zum Ziel: Indem Cas9 beide Stränge der Virus-DNA zerschneidet, verhindert es eine erfolgreiche Infektion durch den Bakteriophagen.

Verändert nach: <https://www.max-wissen.de/max-hefte/biomax-35-genome-editing-mit-crispr-cas9-2/>

Abb. 18: Immunabwehr von Bakterien (© Max-Planck-Gesellschaft, CC BY-NC-SA 4.0)

**Intention der Lerneinheit:** Schülerinnen und Schüler werten Versuche zur Resistenz von Bakterien aus. Sie nutzen molekulare Modellvorstellungen, um die Resistenz gegen Phagen durch „CRISPR-Gene“ zu beschreiben.

**(Wieder) im Lernkontext ankommen:** Die Lerneinheit 1 wird wieder aufgegriffen. Bakteriophagen könnten eine Alternative zu Antibiotika in der Wundbehandlung sein.

Schülerinnen und Schüler führen ein Gedankenexperiment durch (M1). Sie reaktivieren ihr Wissen, dass Antibiotika das Wachstum von Bakterienkolonien hemmen, nicht aber das von resistenten Bakterien. Das Ergebnis des Versuchsansatzes mit Phagen lässt sich aus der Sicht der Schülerinnen und Schüler nicht voraussagen bzw. erklären und führt zur Leitfrage: „Was passiert im dritten Versuchsansatz?“

**Vorstellungen entwickeln:** Vermutung: „Nach der Lyse entwickeln sich Zellen, die trotzdem wachsen und neue Kolonien bilden. Alle Tochterzellen sind gegen die Infektion mit dem bestimmten Phagen geschützt.“



Schülerinnen und Schüler reorganisieren die Vorgänge einer Phageninfektion (Lerneinheit 1). Sie vermuten Strukturveränderungen in der befallenen Zelle, so dass Infektion, Injektion, Ablesen der Phagen-RNA oder Vermehrung der Phagen in der Zelle gestört ist. Jeder Lernende formuliert eine Vermutung oder Frage, Formulierungshilfen enthält der von der Lerngruppe in der Lerneinheit 1 erstellte Zettelkasten (Wortfeldsammlung).

**Lernprodukt erstellen:** „Wie werden Bakterien immun?“ Schülerinnen und Schüler schauen den Film „Gen-editing mit CRISPR/Cas9 – ein Skalpell für das Erbgut“ (Filmdauer: 3.14 Minuten, relevanter Ausschnitt 0-1.35 Min.)

Sie reorganisieren die Inhalte einzelner Filmszenen. Sie gliedern den Prozess in Phasen und schreiben Begriffe auf. Als Erschließungshilfe und Prozessbegleitmittel dient eine Tabelle, die den individuellen Lernstand transparent macht. Die Methode „Notizenzettel“ ist aus der Lerneinheit 1 bekannt. Je nach Lerngruppe ist die Aufgabenstellung mehr oder weniger offen (M2). Für die Bearbeitung bietet sich die Lesestrategie „Skimming und Scanning“ an.

Alternativ ist eine vergleichbare Sendung auf Planet Schule bis September 2023 verfügbar (<https://www.planet-schule.de/sf/php/sendungen.php?sendung=10825>) Dort werden auch differenzierende Arbeitsblätter zur Verfügung gestellt.

**Lernprodukt diskutieren:** Schülerinnen und Schüler präsentieren ihre „Verstehensinseln“. Mit jeder Kurzpräsentation vertieft sich das Verständnis. Die Abwehr von Phagen durch genetisch veränderte Bakterien wird in einem Flussdiagramm dargestellt, das sich im Klassengespräch entwickelt (Tafelbild oder Post Organizer).

**Lernzugewinn definieren und anwenden:** Mithilfe des Post Organizers wird in Einzelarbeit das Versuchsergebnis des Versuchsansatzes 3 im Gedankenexperiment (M1) erklärt, z. B. mit einem Sachtext oder als Kurzvideo.

Beispiele für selbst erstellte Kurzvideos:

- „Wie funktioniert unser Immunsystem?“ [https://www.youtube.com/watch?v=L6lmUKoWg\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=L6lmUKoWg_A) (Comic, 4 Minuten)
- „DNA-Sequenzierung nach Sanger“ <https://www.youtube.com/watch?v=mada3ya-Hzk> (Legetechnik, 6 Minuten)

**Vernetzen und transferieren:** Der Film wird nun vollständig und bis zum Ende angeschaut. Schülerinnen und Schüler erfahren, dass die CRISPR-Gene und die Cas-Enzyme auch in eucytischen Zellen wirksam sind. Das CRISPR/Cas-System kann als Genschere benutzt werden. Damit ist es möglich, das Genom von Lebewesen zu verändern.

Es bietet sich an, zur Frage nach den ethischen Grenzen der Genschere CRISPR/Cas mit den Lernenden zu diskutieren. Wechselnde, aktuelle Materialien bekannter Anbieter (wie z. B. die Max-Planck-Gesellschaft) finden sich sowohl in Youtube wie auch auf dem Schulcampus.

Die ultimative ethische Grenze wäre nach europäischem Werteverständnis der Eingriff in die Keimbahn, d. h. die Veränderung von Keimzellen mit dem Ziel, ein „Kind nach Maß“ zu zeugen. Ein Videoclip der Max-Planck-Gesellschaft zeigt ein Expertengespräch über den Film „Gattaca“ und beleuchtet, was heute möglich ist und was Fiktion bleiben wird.

- „Designerbabys&Genom-Editierung – Science oder Fiction?“  
(<https://kurzelinks.de/hbvp>, 15 Min.).

In dieser Handreichung werden im Kontext 1: Corona – Die Welle brechen und im Kontext 3: Biowissenschaften und nachhaltige Entwicklung weitere Anwendungsmöglichkeiten von CRISPR/Cas vorgestellt.

### Exemplarisches Onlinematerial:

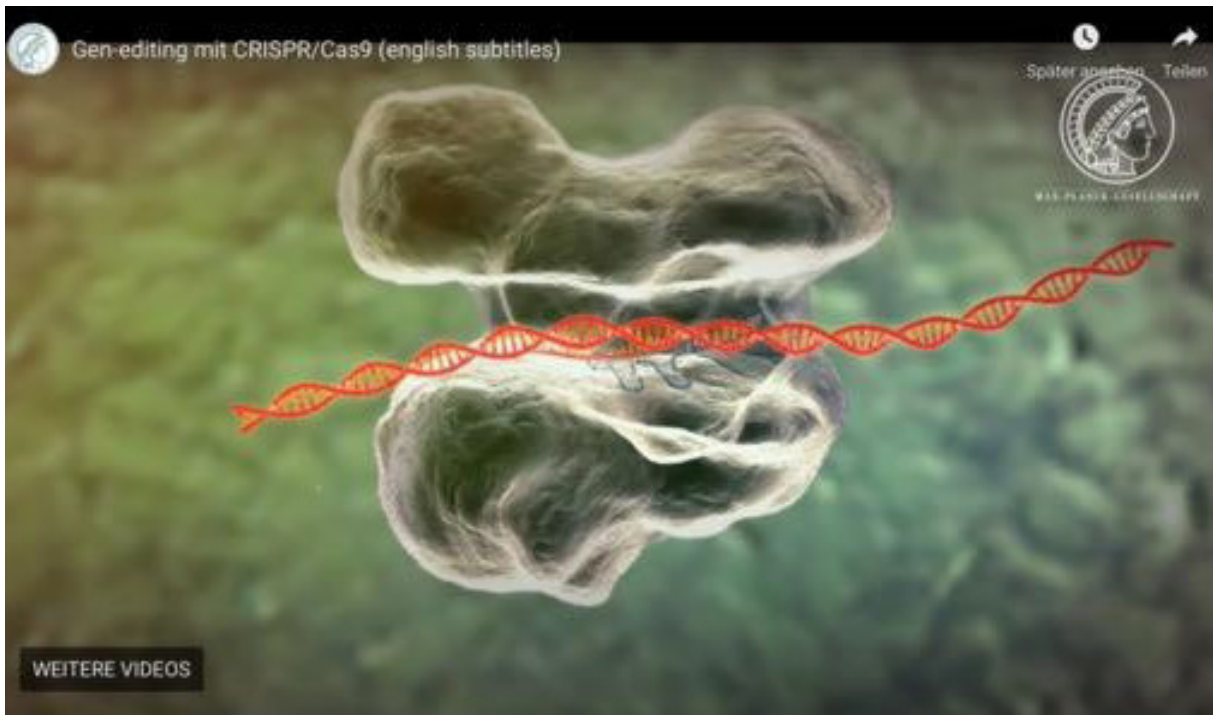


Abb. 19: Filmausschnitt „Gen-editing mit CRISPR/Cas9“ (Ein Skalpell für das Erbgut). Ein Film der Max-Planck-Gesellschaft unter <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI>.

## 4 METHODENKOFFER

### 4.1 Mobiles Genlabor

Onlinematerial: Methodenkoffer\_Mobiles\_Genlabor

Das Mobile Genlabor für die Schule wurde von Frau Dr. Christina Schultheis und Herrn Dr. Alexander Rotthues entwickelt. Beide arbeiten als Lehrkräfte an der Paul-Ehrlich-Schule in Frankfurt am Main. Sie haben nicht nur die eingesetzten Versuche für diesen Workshop etabliert, sondern auch passende Filme, Anleitungen und ein E-book, das während des Einsatzes verwendet wird.

In Rheinland-Pfalz kann das Mobile Genlabor für Schulen ausgeliehen werden. Hierzu ist der vorherige Besuch einer entsprechenden Fortbildung am Pädagogischen Landesinstitut Voraussetzung. Es sind mittlerweile mehrere Mobile Genlabore an den PL-Standorten Speyer und Koblenz sowie im Schülerforschungszentrum Prümer Land (Kontakt: miriam.repplinger@beratung.bildung-rp.de) verfügbar.

#### Kontaktdaten:

Frau Dr. Christina Schultheis und  
Herr Dr. Alexander Rotthues  
Paul-Ehrlich-Schule  
Brüningstr. 2  
65929 Frankfurt  
CSI@paul-ehrlich-schule.de

#### Kontaktdaten:

Dr. Stefanie Böhm  
Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz  
Otto-Mayer-Str. 14  
67346 Speyer  
stefanie.boehm@pl.rlp.de

Die Einsatzmöglichkeiten des Mobilgenlabors sind vielfältig. Unterschiedliche thematische Zusammenhänge und das nötige Vorwissen sind nachfolgend skizziert. Zusätzlich enthält das Mobile Genlabor unterstützende Lernmaterialien, um komplexe Methoden zu verstehen.

Methoden im mobilen Genlabor	Notwendiges Vorwissen	Unterstützende Lernmaterialien	mögliche thematische Zusammenhänge
Entnahme der Mundschleimhautzellen Aufbrechen der Zellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau der Mundschleimhaut</li> <li>• Aufbau der Zelle</li> <li>• Zellkern</li> </ul>		Täterüberführung Vaterschaftstest Erbkrankheiten
PCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlüssel-Schloss-Prinzip</li> <li>• DNA-Aufbau</li> <li>• Replikation (Polymerase)</li> <li>• Enzyme (Polymerase)</li> <li>• Aufbau der Zelle</li> <li>• Zellkern</li> </ul>	DNA-Modell PCR-Modell	Dopinguntersuchung Herkunftsanalyse in der Landwirtschaft ...

Gelelektrophorese	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladung der DNA</li> <li>• Unterschiedliches Laufverhalten der unterschiedlich großen Fragmente</li> </ul>	DNA-Modell	
Genetischer Fingerabdruck	<ul style="list-style-type: none"> <li>• homozygot</li> <li>• heterozygot</li> <li>• nicht codierender Bereich</li> </ul>	Einstiegsfilm zum Mobilgenlabor	
Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladung der DNA</li> <li>• Unterschiedliches Laufverhalten der unterschiedlich großen Fragmente</li> <li>• homozygot</li> <li>• heterozygot</li> </ul>	exemplarisches Ergebnis mit Erläuterung	

## 4.2 Sequenzierung

Onlinematerial:

Methodenkoffer\_Sequenzierung\_SarsCov2

Methodenkoffer\_Sequenzierung\_MyotoneDystrophie\_Typ1

### Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:

Die DNA-Sequenzierung ermöglicht die Bestimmung der Abfolge der Nukleotide in einem DNA-Molekül. Heute kann ein ganzes Genom in kurzer Zeit sequenziert werden. Dabei werden längere DNA-Abschnitte erst in kleinere zerlegt, diese sequenziert und die Ergebnisse bioinformatisch aufgearbeitet, so dass eine vollständige Gesamtsequenz entsteht.

Sequenzierungsmethoden:

- Bei der Methode von Allan Maxam und Walter Gilbert von 1977 wird eine basenspezifische chemische Spaltung der DNA und eine radioaktive Markierung an den Enden durchgeführt. In jedem Ansatz entstehen Fragmente unterschiedlicher Länge, deren 3'-Ende stets an bestimmten Basen gespalten worden war. So erhält man vier getrennte Ansätze jeweils spezifisch für die Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin (A, T, G und C). Die unterschiedlich großen Fragmente werden mittels Gelelektrophorese aufgetrennt, wobei Längenunterschiede von einer Base ausgewertet werden können. Nach der Auftrennung im Gel können die vier Ansätze verglichen und damit die Sequenz direkt abgelesen werden. Diese Methode wird heute kaum noch verwendet.
- Bei der Didesoxymethode nach Sanger, auch Kettenabbruch-Synthese genannt, führt der Einbau eines Didesoxynukleosidtriphosphats (ddNTPs) zum Abbruch der Polymerisationsreaktion. Diese ddNTPs können radioaktiv oder mit einem Fluoreszenzfarbstoff markiert sein. Zu jedem Ansatz wird nur eines der vier ddNTPs gegeben, so dass alle Sequenzen in dem gleichen Ansatz mit der gleichen Base enden. Nach der Sequenzierreaktion werden die Ansätze in einer Polyacrylamid-Gelelektrophorese der Länge nach aufgetrennt. So kann auch hier die Sequenz direkt abgelesen werden.

Eine Weiterentwicklung dieser Methode ist die Markierung der ddNTPs mit 4 unterschiedlichen Fluoreszenz-Farbstoffen, so dass alle vier ddNTPs in einem Reaktionsgefäß zugegeben werden können. Auftrennt wird der Ansatz mittels Kapillarelektrophorese. Ein Laser regt die Fluoreszenz an. Ein Detektor erkennt die unterschiedlichen Fluoreszenzen.

Die im Onlinematerial verwendete Sequenz ist hier fett gedruckt und ein Teil der Sequenz des SARS-CoV-2. Zu finden ist diese Sequenz in der Datenbank des National Center für Biotechnology Information (NCBI) unter der Referenznummer NC\_045512.2. Dies ist die Nukleotidsequenz des Wildtyps des SARS-CoV-2 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 isolate Wuhan-Hu-1, complete genome).

Die eingetragene Sequenz lautet:

GAATCAGCAACTGTGTTGCTGATTATTCTGTCCTATATAATTCCGCATCATTTTCCACTTTTAAGTGTT**TATGG-  
AGTGTCTCCTACTAAATTA**AATGATCTCTGCTTTACTAATGTCTATGCAGATTCATTTGTAATTAGAGG-  
TGATGAAGTCAGACAAATCGCTCCAGGGCAAACCTGGAAAGATTGCTGATTATAATTATAAATTACCAGAT-  
GATTTTACAGGCTGCGTTATAGCTTGAATTCTAACAACTTGATTCTAAGGTTGGTGGTAATTATAATTAC-  
CTGTATAGATTGTTTAGGAAGTCTAATCTCAAACCTTTTGAGAGAGATATTTCAACTGAAATCTATCAGGC-  
CGGTAGCACACCTTGTAAT

Soll eine einzelsträngige RNA (ssRNA) sequenziert werden, muss diese erst in eine doppelsträngige DNA (dsDNA) umgeschrieben werden. Dies erfolgt über die Reverse Transkriptase. Daran schließt sich dann eine Sequenzierung an.

Mittlerweile wird hierzu aber auch eine RT-PCR (RT = Reverse Transkription, PCR = Polymerasekettenreaktion) mit anschließender Sequenzierung eingesetzt.

**Intention der Lerneinheit:** Es wird deutlich, dass das Genom des Virus bekannt sein muss, um eine Aussage über seinen Aufbau, besonders seines Spikeproteins zu treffen. Hierzu wird die Sequenz des Genoms benötigt. Schülerinnen und Schüler lernen eine Methode der Sequenzierung kennen (Sanger-Sequenzierung). Aufgrund der gefundenen Sequenz ist es möglich, eine Aussage über die codierenden Gene und damit auch über das Spikeprotein zu machen. Bei SARS-CoV-2 handelt es sich um ein RNA-Virus, d. h. es ist ein Virus mit einem Erbgut, das aus RNA besteht. Die Sequenzierung eines RNA-Genoms erfolgt wie die eines DNA-Genoms. Allerdings muss im Vorfeld die einzelsträngige RNA in eine doppelsträngige DNA umgeschrieben werden.

**Im Lernkontext ankommen:** Wie ist das SARS-CoV-2 aufgebaut? Was müssen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wissen, um darüber eine Aussage zu treffen? Warum ist es wichtig, den Aufbau zu kennen?

**Vorstellungen entwickeln:** Schülerinnen und Schüler beschäftigen sich zur Vorentlastung mit der Replikation (vgl. TF10, U3\_M9: Replikation\_Lerntempoduett). Hierzu wird ein Flussdiagramm erstellt. Daran anknüpfend werden Ideen für den Ablauf einer Sequenzierung gesammelt.

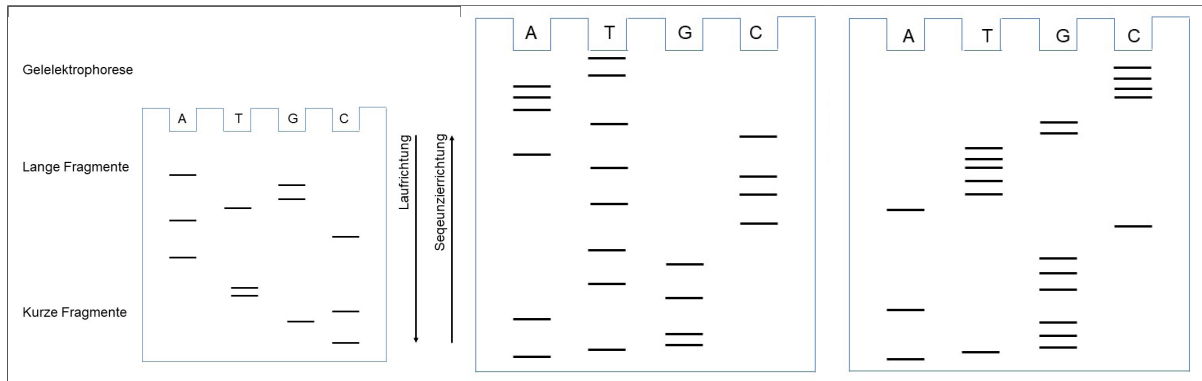
Wie funktioniert die Sequenzierung eines Genoms allgemein? Wie erfolgt die Genomsequenzierung des SARS-CoV-2 im Speziellen?

**Lernprodukt erstellen:** Schülerinnen und Schüler bearbeiten mithilfe der Think-Pair-Share-Methode (siehe Handreichung TF 3, Methodenkoffer) die Sanger-Sequenzierung, die Gelelektrophorese und die Sequenzierung eines ssRNA-Genoms (Methodenkoffer\_Sequenzierung).

**Lernprodukt diskutieren:** Gemeinsam erstellen sie ein Flussdiagramm zur Sequenzierung der ssRNA von SARS-CoV-2.

**Lernzugewinn definieren:** Schülerinnen und Schüler erklären, was aus der Sequenz einer Virus-RNA abgelesen werden kann. Sie können einfache Sequenzvergleiche durchführen.

**Transferieren und vernetzen:** Schülerinnen und Schüler stellen Vermutungen an, wie Varianten des Virus gefunden werden könnten und wie sich unterschiedliche Mutationen auf den Aufbau des Virus auswirken könnten.



Sequenz:		
CGCTTACATGGA	ATGGAGTGTCTCCTACTAAATT	ATGGGAGGGCATT TTTTGGCCCC
	SARS-CoV-2	Myotone Dystrophie Typ 1

Abb. 20: Beispiele für Gensequenzierung nach Sanger

### 4.3 PCR und genetischer Fingerabdruck

Onlinematerial:

Methodenkoffer\_Mobiles Genlabor

Methodenkoffer\_PCR

Methodenkoffer\_PCR\_Modell\_Spielanleitung\_StopMotion

Methodenkoffer\_PCR\_Modell\_interaktiv

#### **Fachliche und fachdidaktische Hintergründe:**

Die Polymerase-Kettenreaktion (englisch: polymerase chain reaction, PCR) ist eine Methode, die aus heutigen molekularbiologischen Labors nicht mehr wegzudenken ist. Sie wird täglich auf der ganzen Welt eingesetzt. Im Jahre 1993 erhielt Kary Mullis, der Entdecker der Polymerase-Ketten-Reaktion, dafür den Nobelpreis in Chemie. Anhand eines PCR-Modells oder auch der Durchführung des Mobilen Genlabors können Schülerinnen und Schüler den Ablauf einer PCR im Modell (M1) oder auch im Experiment (M2) kennenlernen.

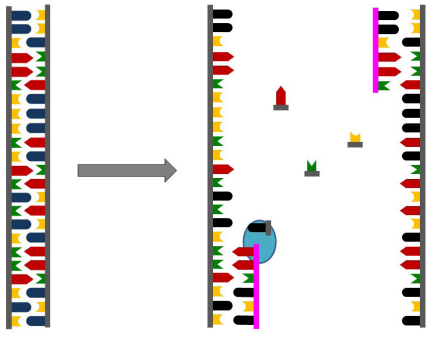
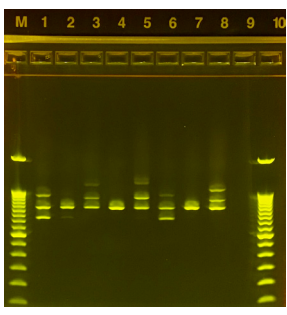
Bei dem Einsatz des Mobilen Genlabors wird zudem ein genetischer Fingerabdruck durchgeführt. Hierbei wird ein „variable number tandem repeat“ auf Chromosom 1 verwendet. Dieses Repeat ist nicht codierend und wird genutzt, einen genetischen Fingerabdruck nachzuvollziehen.

**Intention der Lerneinheit:** Mit der Durchführung einer PCR (praktisch oder auch im Modell) lernen Schülerinnen und Schüler eine aktuelle Methode in der Molekularbiologie kennen. Sie erfahren, wie PCR-Analysen gemacht werden und wie man z. B. das Corona-Virus im Labor auf molekularer Ebene nachweisen kann.

**Im Lernkontext ankommen:** Schülerinnen und Schüler haben das Prinzip der Sequenzierung kennengelernt. Sie wissen, warum man die Sequenzen des Erbgutes benötigt. Dieses Wissen kann nun genutzt werden, um das Virus über sein Genom nachzuweisen.

**Vorstellungen entwickeln:** Mit dem Vorwissen über die Prozesse der Replikation (vgl. Themenfeld 10) und der Kenntnis über das Sequenzieren von DNA erarbeiten sich Schülerinnen und Schüler mithilfe eines Modells den Ablauf einer PCR.



M1_PCR	M2_Mobiles Genlabor
<p><b>Lernprodukt erstellen</b></p>	
<p>Mithilfe des PCR-Modells oder eigenen Materialien können StopMotion-Filme als Erklärvideos erstellt werden.</p>  <p><i>Abb. 21: PCR-Modell</i></p>	<p>Schülerinnen und Schüler führen einen genetischen Fingerabdruck durch. Eigene Zell-Proben werden entnommen (Mundschleimhautzellen). Eine PCR eines nichtcodierenden „variable number tandem repeat“ (VNTR) wird durchgeführt. Darunter versteht man eine Serie sich wiederholender Motive mit einer Größe von 10-150 Nukleotiden. In diesen Bereichen findet man häufig Mutationen (diese haben auch keine direkten Konsequenzen). Diese Mutationen führen dazu, dass die Anzahl der Wiederholungen (repeats) sehr unterschiedlich ist. Mittels Gelelektrophorese werden die vervielfältigten, amplifizierten Produkte aufgetrennt und ausgewertet.</p>
<p><b>Lernprodukt diskutieren</b></p>	
<p>Schülerinnen und Schüler stellen ihre Erklärvideos vor. Sie diskutieren über:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachvollziehbarkeit</li> <li>• Fachliche Korrektheit</li> <li>• Darstellungsweise</li> </ul>	<p>Ein Größenstandard ermöglicht die Größenbestimmung der Banden und damit der amplifizierten Produkte. Schülerinnen und Schüler können diskutieren, ob sie homo- oder heterozygot für das VNTR sind. Vergleiche sind, wie z. B. bei einem Vaterschaftstest oder einem Kriminalfall möglich, der hier inszeniert sein kann.</p>  <p><i>Abb. 22: Gelelektrophorese nach Durchführung der PCR (Spur M und 10 sind jeweils Längenstandards. Alle anderen Spuren sind untersuchte Proben.)</i></p>
<p><b>Lernzugewinn definieren</b></p>	
<p>Schülerinnen und Schüler kennen den Ablauf einer PCR. Sie korrigieren ihr eigenes und die Erklärvideos der anderen Schülerinnen und Schüler.</p>	<p>Schülerinnen und Schüler kennen den Ablauf einer PCR und erfahren, dass man zur Durchführung eines eindeutigen genetischen Fingerabdrucks nicht nur eine Sequenz, sondern 15 unterschiedliche Bereiche untersuchen muss.</p>
<p><b>Transferieren und vernetzen</b></p>	
<p>Schülerinnen und Schüler wenden ihr Wissen zur Sequenzierung von ssRNA auf die Durchführung einer PCR von ssRNA an. Sie stellen fest, dass auch hier eine Reverse Transkription vorgeschaltet sein muss. Das bedeutet, dass vor der PCR die einzelsträngige RNA des Virus in eine doppelsträngige DNA umgeschrieben werden muss.</p>	

# LITERATURVERZEICHNIS

## **Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung.**

<https://17ziele.de/>

<https://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>

## **Bakteriophagen**

Karin Moelling (2019), Viren gegen multiresistente Bakterien. Teil 1: Was sind Phagen?

<https://scienceblog.at/viren-gegen-multiresistente-bakterien-was-sind-phagen>

Karin Moelling (2019), Ein Comeback der Phagentherapie? <https://scienceblog.at/ein-comeback-der-phagentherapie>

## **Biomax 35: Genome Editing mit CRISPR-Cas9:**

<https://www.max-wissen.de/max-hefte/biomax-35-genome-editing-mit-crispr-cas9-2/>

## **Corona: Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V.**

<https://www.vfa.de/de/presse/pressemitteilungen/grafiken-tabellen-covid-19>

## **Gentechnologie**

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biotechnologie/dossiers/magazin2019-2-dossier.html>

## **Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur (Hrsg.) (2014).**

Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz. Biologie, Chemie, Physik. Klassenstufen 7 bis 9/10. Mainz.

## **Myotone Dystrophie Typ 1:**

<https://www.mgz-muenchen.de/erkrankungen/diagnose/myotone-dystrophie-typ-1-dm1.html>

<https://www.medizinische-genetik.de/diagnostik/humangenetik/erkrankungen/syndrome/muskelerkrankungen/myotone-dystrophie-typ-1>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Myotone\\_Dystrophie\\_Typ\\_1](https://de.wikipedia.org/wiki/Myotone_Dystrophie_Typ_1)

[https://www.genetikum.de/de/genetikum/Infothek/infothek\\_detail.php?oid=269&p=4&dtl=Myotone+Dystrophien&k=Genetische+Instabilität+bei+Myotone+Dystrophie+Typ+1+und+Typ+2](https://www.genetikum.de/de/genetikum/Infothek/infothek_detail.php?oid=269&p=4&dtl=Myotone+Dystrophien&k=Genetische+Instabilität+bei+Myotone+Dystrophie+Typ+1+und+Typ+2)

[https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4-wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/12343/file/Larsen\\_genetische\\_Heterogenität\\_Muskeldystrophien.pdf](https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4-wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/12343/file/Larsen_genetische_Heterogenität_Muskeldystrophien.pdf)

[https://www.orpha.net/consor4.01/www/cgi-bin/Disease\\_Genes.php?lng=DE&data\\_id=15878&MIS-SING%20CONTENT=DMPK&search=Disease\\_Genes\\_Simple&title=DMPK](https://www.orpha.net/consor4.01/www/cgi-bin/Disease_Genes.php?lng=DE&data_id=15878&MIS-SING%20CONTENT=DMPK&search=Disease_Genes_Simple&title=DMPK)

# AUTORINNEN UND AUTOREN

**Bianca Bender**

Integrierte Gesamtschule Nastätten, Nastätten

**Dr. Stefanie Böhm**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

**Barbara Dolch**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

**Susanna Molitor**

Gymnasium im Kannenbäckerland, Hör-Grenzhausen

**Dr. Miriam Repplinger**

Regino-Gymnasium, Prüm

**Waltraud Suwelack**

Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien Koblenz, Koblenz

Sofern in der Bildunterschrift nicht anders deklariert, stammen die Abbildungen von den Autorinnen und Autoren selbst.





Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES  
LANDESINSTITUT

Butenschönstr. 2  
67346 Speyer

[pl@pl.rlp.de](mailto:pl@pl.rlp.de)  
[www.pl.rlp.de](http://www.pl.rlp.de)