

Gentechnisch veränderte Pappeln als Umwelthelfer?!



Unterrichtsmaterialien zum Thema Gentechnik
am Beispiel gentechnisch veränderter Pappeln

Inken Barfod-Werner
Studienseminar Göttingen
für das Lehramt an Gymnasien
Waldweg 26

37073 Göttingen

Dr. Sabina Eggert
Georg-August Universität Göttingen
Didaktik der Biologie
Waldweg 26

37073 Göttingen

9.1 Einleitung

Chancen und Risiken des Einsatzes gentechnisch veränderter Organismen werden seit mehreren Jahrzehnten kontrovers diskutiert und sind durch die Fülle an Berichterstattungen omnipräsent. Dazu gehören v. a. auch Diskussionen über die Herstellung gentechnisch veränderter Lebensmittel wie z. B. Mais oder Raps. Neben der Produktion und dem Einsatz dieser bekannten Pflanzen gibt es darüber hinaus eine Vielzahl weiterer gentechnisch veränderter Organismen, die jedoch in Bereichen zum Einsatz kommen, die der breiten Öffentlichkeit eher unbekannt sind. So widmen sich beispielsweise zahlreiche Forschungsinstitute weltweit der Entwicklung sowie Untersuchung gentechnisch veränderter Gehölze. Diese zeichnen sich u. a. durch einen erhöhten Ligningehalt – und damit durch eine veränderte Holzqualität – aus. Weitere mögliche Eigenschaften sind eine erhöhte Fähigkeit in der Aufnahme von Schwermetallen oder eine Toleranz gegenüber Schädlingen und Pflanzenkrankheiten.

Unter den Gehölzen ist dabei v. a. die Pappel ein beliebtes Modellobjekt. Einige Forschungsprojekte in Deutschland arbeiten mit gentechnisch veränderten Pappeln, die eine erhöhte Glutathion Expression zeigen. Glutathion spielt bei der Bindung von Schwermetallen in den Pflanzenzellen eine wichtige Rolle. In Zukunft könnte es somit möglich sein, schwermetallbelastete Böden durch den Einsatz derartiger Pappeln zu sanieren und momentan teure und energieaufwendige Sanierungsverfahren zu ergänzen bzw. zu ersetzen. Wie bei allen Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen bestehen jedoch auch Risiken, die zuvor genau untersucht werden müssen. Dazu zählen mögliche Auswirkungen auf die mit Pappeln in Symbiose lebenden Mykorrhizapilze oder aber das Risiko einer dauerhaften Verbreitung oder Auskreuzung mit Wildarten.

9.2 Konkretisierung der Unterrichtsreihe

Neben der Förderung von Fachwissen liegt der Fokus dieser Einheit v. a. auf der Förderung des Kompetenzbereichs Bewertung. Bewertungskompetenz bezeichnet die Fähigkeit, sich in komplexen Problemsituationen bei unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten begründet entscheiden zu können, um kompetent am gesellschaftlichen Diskurs um Themen angewandter Biologie teilhaben zu können (vgl. u. a. Bögeholz et al. 2004). Ziel dieser Unterrichtseinheit ist es, dass Schülerinnen und Schüler eine derartige Problemsituation mit mehreren Lösungsmöglichkeiten bearbeiten können, diese kritisch reflektieren und abschließend zu einer Entscheidung bzw. zu einem entscheidungsvorbereitenden Urteil gelangen.

Die Einheit lässt sich grob in **drei Phasen** unterteilen:

In der **ersten Phase** wird eine Problemsituation präsentiert: Das Szenario „Bodensanierung“ (→ Material 1). Dabei geht es um ein Gelände einer ehemaligen Farbenfabrik in der Gemeinde Kleinbeck. Das Gelände soll zukünftig wieder genutzt werden können. Dazu muss jedoch zunächst der schwermetallkontaminierte Boden saniert werden. Es liegen der Gemeinde zwei Angebote von Firmen aus dem Umweltsanierungsbereich vor, die es in dieser Unterrichtsphase zu prüfen gilt.

Diese beiden Angebote werden zunächst **arbeitsteilig** bearbeitet und anhand von zentralen Entscheidungskriterien zusammengefasst (→ Materialien 2a, 2b und Material 3: Erwartungshorizont).

In der **zweiten Phase** erhalten die Schülerinnen und Schüler ein weiteres Sanierungsangebot von einem forstbotanischen Forschungsinstitut (→ Material 4). Dieses Institut ist auf die Situation in der Gemeinde aufmerksam geworden und möchte das Gelände für einen Freilandversuch mit gentechnisch veränderten Pappeln nutzen. Das Forschungsinstitut würde sich um alle Auflagen und Vorsichtsmaßnahmen kümmern. Die Gemeindeverwaltung möchte auch dieses Angebot zunächst einmal prüfen und dann in die Gemeindeversammlung als eine Option einbringen. Den Mitgliedern der Gemeindeversammlung fehlt jedoch die Fachkompetenz, um Entscheidungen über gentechnisch veränderte Organismen sowie deren Potenzial und Risiken zu fällen. Die Schülerinnen und Schüler sollen in dieser Phase mit Hilfe der Methode des **Gruppenpuzzles** zu Experten werden und relevante Sachinformationen zu gentechnisch veränderten Organismen am Beispiel der Pappel erarbeiten und für die Gemeindeversammlung aufarbeiten (→ Materialien 5.1 – 5.4 und Material 6). Dies kann in Form eines Plakates, eines Informationsheftes oder -vortrags geschehen.

In der **dritten Phase** findet die eigentliche Gemeindeversammlung statt. Hier werden zunächst einige Fachvorträge aus den Stammgruppen gehört. Danach sollen die Schülerinnen und Schüler für sich selbst die verschiedenen Sanierungsmöglichkeiten vergleichen, bewerten und zu einer begründeten Individualentscheidung kommen. Dazu erweitern sie die in Phase 1 aufgestellte Maßnahmentabelle (→ Material 7 sowie Material 3: Erwartungshorizont). Anschließend müssen die Schülerinnen und Schüler gemeinsam in der Gemeindeversammlung die drei verschiedenen Vorschläge diskutieren und dabei die eigenen Argumente vorbringen. Die Gemeindeversammlung endet mit einer Abstimmung sowie einer abschließenden Empfehlung.

9.3 Materialien

Material 1 (Folie)

Problemsituation Farbenfabrik „Multicolor“

Auf dem Gelände der ehemaligen Farbenfabrik „Multicolor“ in der Gemeinde Kleinbeck wurden Rückstände von Schwermetallen und anderen Schadstoffen gefunden. Die Gemeinde hatte zunächst ein Gutachten zur Bodenqualität in Auftrag gegeben. Das Gutachten ergab, dass der Boden stark mit Schwermetallen belastet ist und saniert werden sollte. Um den Boden zu sanieren, wurden von mehreren Firmen Angebote eingeholt.

Zwei verschiedene Angebote wurden letztendlich als geeignet eingestuft und sind in die engere Wahl gekommen. Welche Maßnahme schließlich durchgeführt wird, soll auf einer Gemeindeversammlung entschieden werden!

Dies sind die beiden Angebote:

Firma „Bodensanierung GmbH“	Firma „Boden und Umwelt GmbH“
<u>Bodenaushub und thermische Bodenwäsche</u> Der belastete Boden wird komplett ausgehoben und anschließend in einer speziellen Aufbereitungsanlage gereinigt und anschließend zum großen Teil wiederverwendet.	<u>Immobilisierungsverfahren</u> Der belastete Boden wird auf der Fläche behandelt. Dabei werden die Schwermetalle im Boden mit Hilfe von speziellen Bindemitteln unschädlich gemacht. Die Fläche kann anschließend wieder genutzt werden.

Aufgaben:

Stellt euch vor, ihr seid Bürger der Gemeinde Kleinbeck! Die Gemeinde will in einer Gemeindeversammlung über die Sanierungsmaßnahmen entscheiden.

- Benennt Aspekte (Kriterien), die für die Gemeinde wichtig sein könnten, um sich für eine der Sanierungsmaßnahmen entscheiden zu können!
- Erarbeitet arbeitsteilig die beiden Texte zu den Sanierungsmaßnahmen (Material 2a bzw. 2b) und schreibt zu den gesammelten Kriterien die Informationen aus den Texten (tabellarisch)!
- Ergänzt mögliche weitere Kriterien und Informationen, die sich aus den Texten ergeben haben und zuvor noch nicht berücksichtigt wurden!
- Informiert Euch anschließend gegenseitig über die beiden Sanierungsmaßnahmen und vervollständigt Eure Tabelle!

Material 2a

Vorschlag A

Bodensanierung durch Aushub und anschließende thermische Bodenwäsche

Die Firma *Bodensanierung GmbH* schlägt für die Sanierung des schwermetallbelasteten Bodens eine Kombination aus Aushub des kontaminierten Bodens mit einer anschließenden thermischen Bodenwäsche vor.

In einem ersten Schritt wird dabei der verunreinigte Boden bis zu einer Tiefe von max. 1,70 m ausgehoben. Das verunreinigte Material auf dem Gelände der Firma Multicolor kann mit Hilfe von Baggern komplett beseitigt werden. Anschließend muss jedoch zusätzlich Boden auf die Fläche aufgebracht werden. Dann steht die Fläche aber für eine zukünftige Nutzung uneingeschränkt zur Verfügung.

Alle Arbeitsschritte werden durch die Firma *Bodensanierung GmbH* durchgeführt. Der ausgehobene Boden wird in eine Aufbereitungsanlage gebracht, in der er „gewaschen“ wird. Die Bodenwäsche ist ein gängiges Verfahren, bei dem der Boden mit Hilfe von Wasser in einen groben und einen feinen Kornanteil aufgetrennt wird. Sowohl an den Grobkörnern als auch an den Feinkörnern „kleben“ Schwermetalle. Um die Schwermetalle von den Bodenpartikeln zu lösen, werden Hochdruck-Wasserstrahlrohre eingesetzt. Die Grobkornanteile weisen nach dieser Bodenwäsche keine gebundenen Schwermetallreste mehr auf und sind damit „risikolos“. Sie können beispielsweise als Bau- bzw. Dämmmaterial wiederverwendet werden. Schwieriger ist es, die Schwermetalle von den feinkörnigen Anteilen zu entfernen, denn sie sind sehr fest gebunden und liegen zudem in hoher Konzentration vor. Das für die Reinigung benutzte Wasser ist nach der Bodenwäsche mit Schwermetallen verschmutzt und muss ebenfalls gereinigt und aufbereitet werden.

Der feinkörnige Bestandteil des Bodens wird in einem nächsten Schritt in einem Hochtemperaturverfahren erhitzt. Bei den sehr hohen Temperaturen werden viele der Schwermetalle dauerhaft mit den Bodenteilchen „verschmolzen“ und damit in ihnen eingeschlossen. Ein Teil des thermisch gereinigten Bodens kann anschließend als Baustoff oder Dämmmaterial wieder eingesetzt werden. Bei der Erhitzung im Hochtemperaturofen entstehen jedoch auch giftige Abgase, die in einer Filteranlage gefiltert werden müssen. Die sich in den Filtern ablagernden Feinstäube sowie ein Rest des Feinkornanteils müssen als Sondermüll entsorgt werden. Sie machen jedoch nur einen geringen Anteil des ursprünglich ausgehobenen Bodens aus. Das gesamte Aufbereitungsverfahren der Bodenwäsche und der anschließenden Behandlung im Hochtemperaturofen ist ein erprobtes und in der Praxis gängiges Verfahren.

Material 2b**Vorschlag B**Bodensanierung durch Immobilisierung der Schwermetalle vor Ort

Die Firma *Boden und Umwelt GmbH* bietet als Sanierungsmaßnahme ein Immobilisierungsverfahren an. Die Firma setzt dieses Verfahren bereits seit vielen Jahren erfolgreich ein. Dabei kann der schwermetallbelastete Boden vor Ort auf dem Gelände der Farbenfabrik behandelt werden. Kosten für Transport und Aufbereitung in einer Anlage entstehen also nicht. Außerdem kann die Fläche anschließend wieder genutzt werden.

Das Ziel des Verfahrens ist es, die Schwermetalle im Boden mit Hilfe von Chemikalien „unschädlich“ zu machen, sodass sie keine Gefahr mehr für Lebewesen und Grundwasser darstellen. Dazu werden Chemikalien entweder mit Hilfe von Injektionsspritzen in den Boden „eingespritzt“ oder durch Umpflügen mit Hilfe von landwirtschaftlichen Maschinen in den Boden eingebracht. Im Boden verbinden sich diese Chemikalien dann mit den Schwermetallen zu großen Molekülen (sogenannten Komplexen) und werden so „eingeschlossen“. Diese großen Moleküle können danach beispielsweise nicht mehr durch Regenwasser ausgewaschen werden und somit auch nicht ins Grundwasser gelangen.

Generell ist das beschriebene Verfahren für den Boden schonend, denn die Bodenstruktur bleibt erhalten. Allerdings kann es durch Zugabe der Chemikalien in einzelnen Fällen zu Veränderungen im Boden, beispielsweise zur Veränderung des pH-Werts kommen. Ist das der Fall, können sich die Komplexe aus Schwermetallen und Chemikalien wieder auflösen und die Schwermetalle doch wieder frei im Boden vorliegen. Dadurch könnte es zu Schädigungen der im Boden lebenden Organismen kommen. Aus diesem Grund muss vorher genau geprüft werden, welche Chemikalien in welcher Konzentration in den Boden gebracht werden. Zusätzlich muss die Fläche in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden.

Material 3: Erwartungshorizont (+ Erwartungshorizont zu Material 7)

<div style="text-align: center;">Maßnahme</div> <div style="text-align: center;">Kriterien</div>	Bodenaushub mit anschließender thermischer Bodenwäsche	Immobilisierung	Anpflanzung transgener Pappeln (Achtung: Diese Maßnahme wird erst in Phase 2 bearbeitet.)
Kosten – Maßnahme	wahrscheinlich hoch, da <ul style="list-style-type: none"> • Baggerarbeiten notwendig • Transport des Materials zu einer Aufbereitungsanlage • Energie- und Wasserkosten entstehen • nach Durchführung muss neuer Boden aufgebracht werden 	wahrscheinlich mittel, da <ul style="list-style-type: none"> • Kosten für Maschinen, Chemikalien und für regelmäßige Kontrolle entstehen • keine Kosten für Transport und weitere Aufbereitung des Bodens entstehen 	<ul style="list-style-type: none"> • gering, da Übernahme durch Forschungsinstitut
Kosten - Abfallentsorgung	hoch, da <ul style="list-style-type: none"> • Filter und Reste des Feinkornanteils deponiert werden müssen • viel Energie und viel Wasser eingesetzt werden muss 	keine	<ul style="list-style-type: none"> • gering, da Übernahme durch Forschungsinstitut
Effektivität / anschließende Nutzung der Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • sehr effektiv • Fläche anschließend wieder nutzbar 	<ul style="list-style-type: none"> • effektiv <ul style="list-style-type: none"> ○ aber geringes Risiko der Wiederfreisetzung von Schwermetallen ist vorhanden ○ dadurch Fläche mit Einschränkung wieder nutzbar 	<ul style="list-style-type: none"> • eingeschränkt, da <ul style="list-style-type: none"> ○ Reste von Schwermetallen im Boden verbleiben ○ Maßnahme sich noch in der Versuchsphase befindet

Umweltbelastung	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Energieverbrauch, hoher Wasserverbrauch in der Anlage • keine Schwermetalle mehr im Boden und Fläche wieder nutzbar • kein Risiko für Bodenlebewesen 		<ul style="list-style-type: none"> • keine Belastung, wenn die Maßnahme funktioniert und die Fläche regelmäßig kontrolliert wird 		<ul style="list-style-type: none"> • wenig Energieverbrauch und Abfall • Reste von Schwermetallen verbleiben im Boden • momentan nicht abschätzbares Risiko für Bodenlebewesen (und Ökosystem) durch horizontalen Gentransfer 	
Langfristige Sicherheit	vollständig gewährleistet		mit Einschränkung gewährleistet		mit Einschränkung gewährleistet	
Expertise der Firma	sehr gut		sehr gut		sehr gut, aber Versuchsphase	
Weitere Kriterien aus Phase 2:						
Dauer der Maßnahme	<ul style="list-style-type: none"> • mehrere Wochen 		<ul style="list-style-type: none"> • mehrere Wochen 		<ul style="list-style-type: none"> • mehrere Jahre 	
....						

Hinweise für die Lehrkraft:

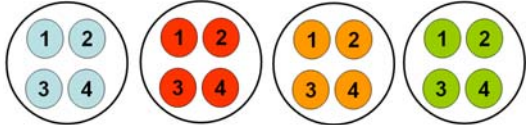
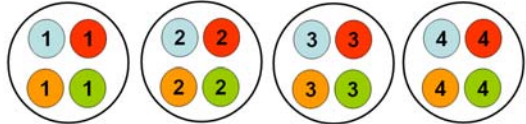
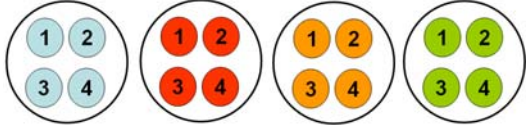
- Die Blankotabelle kann wahlweise ausgeteilt werden oder aber von den Schülerinnen und Schülern selbst erstellt werden.
- Zur Erstellung der Tabelle müssen sowohl Informationen aus den Texten verwendet als auch Schlussfolgerungen daraus gezogen werden (z. B. Energieverbrauch)!
- In die grau unterlegten Spalten werden in der Phase 3 (Individualentscheidung) die Plus- und Minuspunkte für die Bewertung eingetragen (siehe Arbeitsauftrag Material 7).

Material 4 (Folie)**Sanierungsangebot eines forstbotanischen Forschungsinstituts**

Neben den drei Sanierungsfirmen ist außerdem ein forstbotanisches Forschungsinstitut auf die Situation in der Gemeinde Kleinbeck aufmerksam geworden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts untersuchen schwerpunktmäßig die Eigenschaften gentechnisch veränderter Pappeln und deren Fähigkeit, Schwermetalle aus Böden zu binden und damit unschädlich zu machen.

Das Forschungsinstitut würde das Gelände der Farbenfabrik gerne als Versuchsfläche nutzen und die Wirksamkeit der gentechnisch veränderten Pappeln im Freiland untersuchen. Das Institut würde für die Kosten des Versuchs Gelder zur Verfügung stellen können. So könnten zwei Fliegen mit einer Klappe geschlagen werden: Das Forschungsinstitut könnte seine Laborversuche unter Feldbedingungen testen und der Gemeinde würde eine kostengünstige Sanierungsmaßnahme zur Verfügung stehen. Der Verwaltungsausschuss des Gemeinderats findet die Möglichkeit grundsätzlich interessant, kann sich aber nicht entscheiden, da die notwendige Fachkompetenz fehlt. Um selbst kompetent entscheiden zu können, möchten sie sich von einem unabhängigen Experten informieren lassen.

Aufgaben:

<ul style="list-style-type: none"> Bildet Stammgruppen (zu ca. vier Personen). Die Aufgabe jeder Stammgruppe ist es, eine Präsentation für die Gemeindeversammlung zu erstellen! In der Stammgruppe liest jede/r Schüler/in nur sein Infoblatt (<u>Materialien 51. – 5.4</u>; Einzelarbeit!). 	
<ul style="list-style-type: none"> Dann trifft ihr Euch in Expertengruppen mit ca. 4 Schülern/Schülerinnen, die alle den gleichen Text bearbeitet haben. Dort beantwortet Ihr gemeinsam die Verständnisfragen (<u>Fragen zu Materialien 5.1 – 5.4</u>). 	
<ul style="list-style-type: none"> Anschließend geht Ihr zurück in die Stammgruppen, informiert Eure Mitschüler/innen über die Inhalte eures Infotexts und bereitet eine Präsentation vor! <p>Auf Basis dieser Präsentationen soll dann über die Anfrage des Forschungsinstituts entschieden werden.</p>	

Materialien 5.1 – 5.4

Informationsblatt 5.1



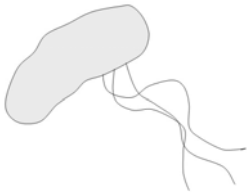
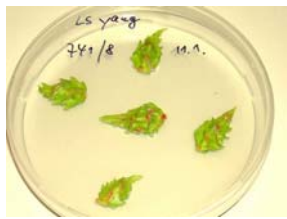


Foto: Sybille Susat, RUZ Reinhausen

Die Pappel ist der für gentechnische (Freiland-)versuche beliebteste Baum. Dies liegt zum einem an ihrem schnellen Wachstum und zum anderen an der Fähigkeit, Schwermetalle aus dem Boden aufzunehmen und in den Blättern zu speichern. Diese Fähigkeit kann bei einer gentechnischen Veränderung noch verstärkt werden. Ziel der gentechnischen Forschung ist es, Pappeln so zu verändern, dass man die Bäume für eine großflächige Sanierung schwermetallbelasteter Böden nutzen kann. Heute angewandte Bodensanierungsverfahren wie z. B. die Bodenwäsche oder die Immobilisierung von Schadstoffen sollen so ergänzt und ggf. ersetzt werden.

Wie werden genetisch veränderte (transgene) Pappeln hergestellt?

Transgene Pappeln werden mit Hilfe eines Bodenbakteriums (*Agrobacterium*) erzeugt. Das Bakterium dient als „Transportmittel“ für die gewünschte Erbinformation, die man in die Pappel einbringen möchte. Bei der Erbinformation handelt es sich um ein Gen, das in der Pappelpflanze letztendlich eine verstärkte Bildung von Glutathion zur Folge hat. Glutathion kommt natürlicher Weise in Pappeln vor und spielt eine wichtige Rolle bei der Stressabwehr und bei der Entgiftung von Schadstoffen und Schwermetallen. Durch die verstärkte Bildung von Glutathion erhoffen sich Forscher, dass diese Pappeln mehr und schneller Schwermetalle aus dem Boden aufnehmen können als nicht gentechnisch veränderte Pappeln.

Ablauf der Herstellung von gentechnisch veränderten Pappelpflanzen

<p style="text-align: center;">1</p> 	<p>Die Herstellung von transgenen Pappeln erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst muss das „<u>Transportmittel</u>“, in diesem Fall das Bodenbakterium, mit dem gewünschten Gen präpariert werden.</p>	<p style="text-align: center;">2</p>  <p>(Foto: Dr. Dietrich Ewald, BFH Waldsiedersdorf / www.biosicherheit.de)</p>	<p>Anschließend werden Blattstückchen von Pappeln mit dem veränderten Bodenbakterium infiziert.</p>
<p style="text-align: center;">3</p>  <p>(Foto: Dr. Andreas Peuke, Universität Freiburg / www.biosicherheit.de)</p>	<p>Die Zellen der Blattstückchen, die erfolgreich mit dem Bodenbakterium infiziert wurden, werden auf einem speziellen Nährboden zu komplett neuen Pappelpflänzchen herangezogen.</p>	<p style="text-align: center;">4</p>  <p>(Dr. Andreas Peuke, Universität Freiburg / www.biosicherheit.de)</p>	<p>Diese Pflänzchen werden in Gewächshäusern herangezogen. Wenn sie größer sind, können sie für Laborexperimente oder aber auch für Freilandversuche unter strenger Kontrolle zur Verfügung stehen.</p>

Informationsblatt 5.2

Wie transportiert man neue Gene in eine Pflanze?

Ein Bakterium als Transportmittel

Das im Boden vorkommende Bakterium *Agrobacterium* ist ein häufig benutzter Organismus in der Gentechnik. Man kann sagen, es ist eines der „Haustiere“ eines Genetikers. Das Bakterium besitzt „von Natur aus“ die Fähigkeit, genetische Informationen in Pflanzenzellen einzuschleusen. Dies passiert vor allem bei Pflanzen, die eine Verletzung am Übergang zwischen Stamm und Wurzeln haben. In diese Stelle kann das *Agrobacterium* eindringen und genetische Informationen in die Pflanze einschleusen. Die übertragene genetische Information ruft in der Pflanze eine Wucherung hervor, die Wurzelhalsgalle genannt wird. Diese Wucherung dient dem Bakterium als Lebensraum. Außerdem überträgt das Bakterium auch Gene, die die Pflanze zur Bildung von Nährstoffen (Opinen) anregt, die nur für das Bakterium von Nutzen sind. Durch diesen vom Bakterium ausgehenden genetischen Transfer liefert die Pflanze quasi Lebensraum und Nährstoffe für das Bakterium.

Beladung des Transporters und Herstellung einer transgenen Pflanze

Genetiker machen sich die Fähigkeiten des *Agrobacteriums* zunutze, indem sie es als Transportmittel mit gewünschten Genen beladen. Die Gene, die übertragen werden sollen, werden dabei nicht in das bakterielle Chromosom, sondern in die für Bakterien typischen ringförmigen Erbmateriale, die

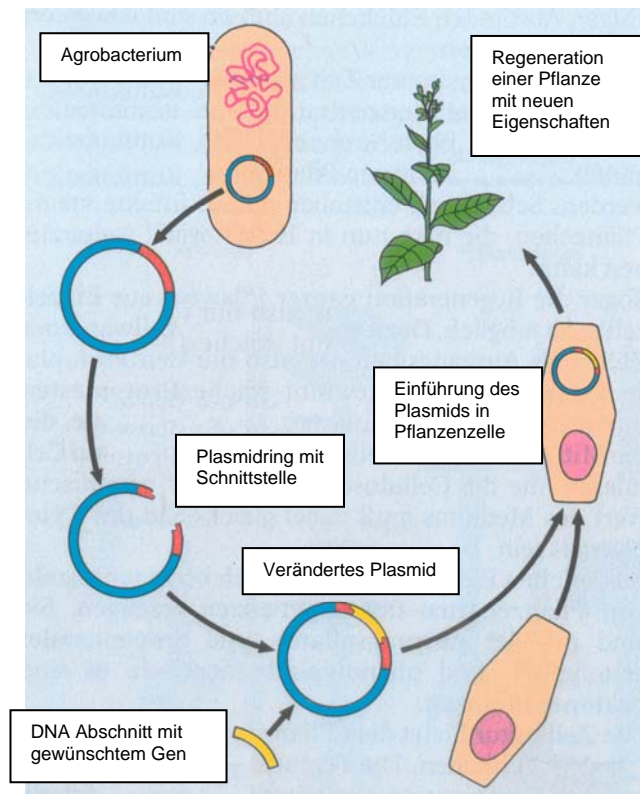


Abb. 1: Herstellung einer transgenen Pflanze mit Hilfe eines Plasmids (vereinfachte Darstellung; verändert nach Schroedel 1989, S. 96)

sogenannten Plasmide, eingebaut. Das Verfahren der Plasmidherstellung ist in Abbildung 1 dargestellt. Zunächst einmal wird der Plasmidring aus der Bakterienzelle entfernt. Dann wird dieser Ring mit Hilfe einer „molekularen Schere“ an einer bestimmten Stelle aufgeschnitten. In die aufgeschnittene Stelle kann nun das gewünschte Gen eingefügt werden. Die Enden werden dann mit Hilfe eines „molekularen Klebstoffs“ wieder verbunden. Das veränderte Plasmid wird anschließend zurück in die Bakterienzelle gebracht. Das mit dem gewünschten Gen bestückte Plasmid wird dann in eine Pflanzenzelle eingeschleust. Aus dieser Pflanzenzelle entsteht schließlich eine vollständige Pflanze, z. B. eine Pappel, mit neuen Erbmerkmalen und der gewünschten neuen Eigenschaft.

Informationsblatt 5.3

Chancen und Risiken transgener Pflanzen: Beispiel Pappeln

Viele Pflanzen wie z. B. Raps oder Mais, die gegen verschiedene Schädlinge resistent sind, werden bereits weltweit gentechnisch verändert und angebaut. Ähnlich wie bei diesen Pflanzen könnte man durch gentechnische Veränderung auch bei Bäumen eine Resistenz gegen Schädlinge wie z. B. Insekten oder aber eine Resistenz gegen Pflanzenschutzmittel erzeugen. Dies wäre v.a. bei schnell wachsenden Bäumen von Vorteil, die für die Papierproduktion genutzt werden. Außerdem kann man die natürliche Eigenschaft von Pappeln, Schwermetalle aus dem Boden aufzunehmen, durch gentechnische Veränderung verstärken und Pappeln für die Sanierung schwermetallbelasteter Böden nutzen.



Abb. 1: Transgene Pappelpflanzen auf einem mit Kupfer belasteten Boden (Foto: Sigrid Fuhrmann / www.biosicherheit.de)

Erste Freisetzungsversuche mit transgenen Pappeln werden bereits durchgeführt (Abb. 1). Dadurch könnten heute gängige Sanierungsmaßnahmen ergänzt oder ggf. ersetzt werden. Es gibt aber auch Risiken beim Einsatz von transgenen Organismen, die zunächst in zahlreichen Experimenten und Freilandversuchen abgeschätzt werden müssen. Bei Bäumen gibt es im Vergleich zu Gräsern oder Kräutern viele Risiken abzuschätzen. Zum einen werden Bäume sehr alt und transgene Veränderungen können über einen langen Zeitraum wirken. Außerdem werden Bäume in der Regel vom Wind bestäubt und Pollen und Samen können mehrere Kilometer von ihrem Ursprungsort weggetragen werden. Dazu kommt, dass Bäume die Fähigkeit besitzen, sich mit anderen verwandten Baumarten zu kreuzen und dadurch neue Baumarten entstehen (vertikaler Gentransfer). Des Weiteren leben Bäume oft in Gemeinschaften, sogenannten Symbiosen, mit Pilzen. Viele verschiedene Pilzarten bilden im Wurzelbereich von Bäumen ihre typischen Wurzelfäden aus, über die ein Nährstoffaustausch stattfindet. Möglicherweise könnten über diesen Weg transgene Eigenschaften auch auf Pilze übergehen und weiter verbreitet werden (horizontaler Gentransfer). Dies könnte sich nachteilig auf das gesamte Ökosystem auswirken. Ein weiterer Nachteil für das Ökosystem kann dann entstehen, wenn die transgenen Pappeln neben den gewünschten auch unerwünschte Eigenschaften ausbilden, z. B. veränderte Eigenschaften für Bewohner der Pappeln. Möglicherweise können Pappeln ihre transgenen Eigenschaften auch wieder „verlieren“. In Versuchen mit anderen transgenen Pflanzen wurde festgestellt, dass die genetische Veränderung nicht stabil war und beispielweise nur ein oder zwei Jahre beobachtet werden konnte.

Informationsblatt 5.4

Durchführung des Versuchs - Hintergrundinformationen des Forschungsinstituts

Pappeln besitzen von Haus aus die Fähigkeit, Schwermetalle aus dem Boden aufzunehmen und in ihren Blättern zu speichern. Bei den transgenen Pappeln, die im Versuch eingesetzt werden sollen, ist diese Fähigkeit erhöht. Zusammen mit dem relativ schnellen Wachstum von Pappeln sind diese Bäume für derartige Versuche besonders interessant. Das Verfahren (vgl. Abb. 1) dabei ist einfach und ohne großen Aufwand durchzuführen. Nach Beendigung des Versuchs nach ca. 3-4 Jahren sollte die Fläche nur noch eine unbedenkliche Kontamination aufweisen. Sollte dies nicht der Fall sein, kann eine weitere Pflanzung durchgeführt werden.

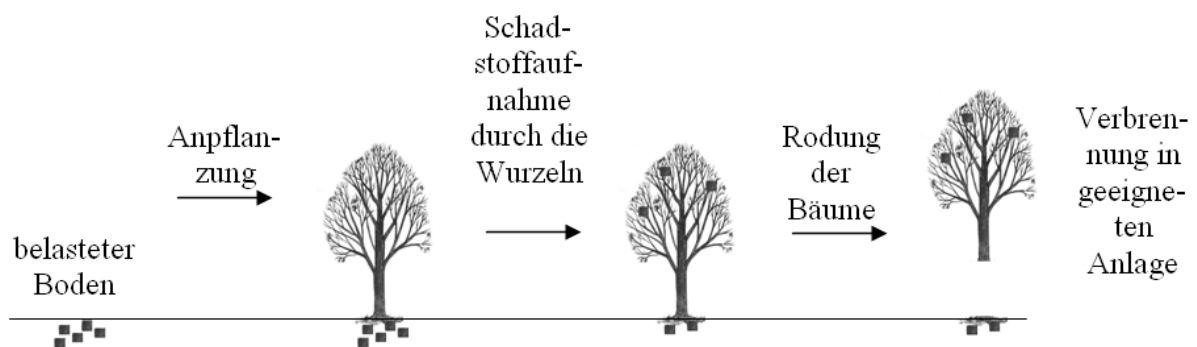


Abb. 1: Verfahren der Schwermetallreduktion durch transgene Pappeln

Das Forschungsinstitut hält die Fläche als Versuchsfläche für geeignet. Sowohl der Grad als auch die Tiefe der Kontamination im Boden sind für den Versuch optimal. Das Institut wird die Anpflanzung, die Vorsichtsmaßnahmen (vgl. Infokasten) und Überwachung sowie die anschließende Rodung der Pflanzen nach Beendigung des Versuchs durchführen. Das Institut baut bei dem geplanten Versuch bereits auf einer Reihe von Laborversuchen sowie einem zuvor durchgeführten Freilandversuch auf. Ergebnisse des Freilandversuchs konnten zeigen, dass die gentechnisch veränderten Pappeln gegenüber ihren Wildtypen mehr Schwermetalle aus dem Boden aufnehmen konnten.

Infokasten: Freisetzungsversuche – Was man beachten muss



Abb. 2: Beispielversuchsfläche im Herbst
(Foto: Dr. Andreas Peuke / www.biosicherheit.de)

Bei Freilandversuchen mit transgenen Pappeln müssen zahlreiche Sicherheitsaspekte berücksichtigt werden, um die Verbreitung und Ansiedlung außerhalb der Versuchsfläche zu vermeiden. Zum einen dürfen die Bäume nicht blühen. Deswegen pflanzt man sterile Pappeln, die nicht blühen können. Des Weiteren müssen im Herbst Netze über die Versuchsfläche gespannt werden, die verhindern, dass Herbstlaub weggeweht wird oder auf dem Boden verrottet (Abb. 2). Sobald der Versuch beendet ist, müssen alle Pflanzen gerodet und anschließend in speziellen Anlagen, die mit Filtern ausgestattet sind, verbrannt werden. Nach dem Versuch muss die Fläche in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden.

Fragen zu Informationsblatt 5.1

Um anschließend die Inhalte der verschiedenen Informationsblätter auch in der Stammgruppe erläutern zu können, sollten folgende Fragen in der Expertengruppe geklärt werden:

- Begründet, warum Pappeln für die gentechnische Forschung besonders interessant sind!
- Nennt die einzelnen Schritte, die bei der Herstellung von transgenen Pappeln durchlaufen werden müssen und erläutert die Reihenfolge.

Bei allen Fragen könnt ihr zusätzlich das „Lexikon“ (Material 6) benutzen.

Fragen zu Informationsblatt 5.2

Um anschließend die Inhalte der verschiedenen Informationsblätter auch in der Stammgruppe erläutern zu können, sollten folgende Fragen in der Expertengruppe geklärt werden:

- Begründet, warum das Bodenbakterium *Agrobacterium* auch als Genfahre bezeichnet wird.
- Beschreibt das Vorgehen, bei dem die Genfahre *Agrobacterium* mit den gewünschten Genen beladen wird.

Vertiefungsfrage

In der Praxis wird das Transportmittel *Agrobacterium* nicht nur mit dem gewünschten Gen ausgestattet, bevor es in eine Pflanze übertragen wird, sondern es wird noch weiter gentechnisch verändert.

- Beschreibt die Veränderungen, die zuvor am *Agrobacterium* durchgeführt werden müssen, bevor es in die Pflanze übertragen wird und begründet dieses Vorgehen.

Bei allen Fragen könnt ihr zusätzlich das „Lexikon“ (Material 6) benutzen.

Fragen zu Informationsblatt 5.3

Um anschließend die Inhalte der verschiedenen Informationsblätter auch in der Stammgruppe erläutern zu können, sollten folgende Fragen in der Expertengruppe geklärt werden:

- Vergleicht horizontalen und vertikalen Gentransfer.
- Beschreibt die verschiedenen Verbreitungsmöglichkeiten von gentechnisch verändertem Erbgut bei den Pappeln.
- Benennt mögliche Konsequenzen dieser Verbreitung auf umgebende Ökosysteme und begründet diese!

Bei allen Fragen könnt ihr zusätzlich das „Lexikon“ (Material 6) benutzen!

Fragen zu Informationsblatt 5.4

Um anschließend die Inhalte der verschiedenen Informationsblätter auch in der Stammgruppe erläutern zu können, sollten folgende Fragen in der Expertengruppe geklärt werden:

- Nennt Vorteile und Nachteile einer möglichen Sanierung schwermetallbelasteter Böden mit Hilfe von transgenen Pappeln.
- Bei der Freisetzung von Pappeln werden Vorsichtsmaßnahmen ergriffen. Nennt diese und begründet das Vorgehen.

Bei allen Fragen könnt ihr zusätzlich das „Lexikon“ (Material 6) benutzen.

Material 6

Kleines Gentechnik- und Pappel-Lexikon	
Gen	Ein Gen ist ein definierter Abschnitt auf der DNA. Gene können als Anlagen für bestimmte Merkmale angesehen werden, beispielsweise für die Haarfarbe beim Menschen oder aber in unserem Beispiel die Herstellung eines Enzyms für die Bildung von Glutathion. Für die Ausprägung eines Merkmals können entweder ein Gen oder aber auch mehrere Gene verantwortlich sein. Der Prozess vom Gen bis zur letztendlichen Merkmalsausprägung ist lang. Zunächst muss die Information, die im Gen verschlüsselt ist, abgelesen werden und in Form eines „Boten“ (der messenger-RNA) vom Zellkern in die Zelle transportiert werden. Dort wird an einem „Produktionsort“ (dem Ribosom) die Information ausgelesen und das jeweilige „Genprodukt“ hergestellt. Im Fall der Pappel ist dies ein Enzym, also ein Eiweiß, welches die Produktion von Glutathion beschleunigt.
Gentransfer - horizontal	Der Begriff beschreibt den Austausch genetischen Materials zwischen Lebewesen über Artgrenzen hinweg. Unter horizontalem Gentransfer versteht man z. B. die Weitergabe genetischen Materials von einer Pappel auf eine mit ihr in Symbiose lebende Pilzart.
Gentransfer - vertikal	Der Begriff beschreibt den Austausch genetischen Materials zwischen Lebewesen innerhalb einer Art und – wie im Falle vieler Gehölze – zwischen verwandten Arten (Beispiel Schwarzpappel – Silberpappel). Bei der Risikobewertung von transgenen Pappeln ist die Möglichkeit des Gentransfers von transgenen auf natürliche vorkommende Pappeln ein wichtiges Kriterium.
Glutathion	Glutathion ist ein Eiweiß. Es unterstützt die Pflanze bei der Bindung von Schwermetallen.
Plasmid	Plasmide sind die für Bakterien typischen ringförmigen DNA-Moleküle. Sie kommen in Bakterien zusätzlich zur Erbinformation auf dem Hauptchromosom vor. Die Eigenschaft von Plasmiden, in andere Zellen eindringen zu können, macht sie zu einem beliebten „Werkzeug“ von Genetikern.
Resistenz	Resistenz beschreibt die Widerstandsfähigkeit eines Organismus gegenüber einer Substanz oder anderen Organismen, wie z. B. die Resistenz von genetisch verändertem Raps gegenüber Pflanzenschutzmitteln oder die Resistenz von Pflanzen gegenüber Insekten durch die Produktion von giftigen Substanzen.
Transgener Organismus	Ein transgener Organismus ist ein Organismus, in den ein oder mehrere Gene einer anderen Spezies eingeführt wurden. Im Gegensatz zur natürlichen Fortpflanzung stellen Artgrenzen dabei keine Barrieren dar.

Material 7

Welche Sanierungsmaßnahme soll umgesetzt werden – persönliche Entscheidung

Du hast nun alle Sanierungsmaßnahmen, die zur Diskussion stehen, kennengelernt.

Für welche Maßnahme würdest du dich persönlich entscheiden?

Bearbeite dabei die folgenden Fragen:

1. Erweitere zunächst mit Stichpunkten die Informationstabelle für die beiden konventionellen Sanierungsmaßnahmen um die Sanierungsmaßnahme mit den transgenen Pappeln!
(vgl. Material 3)
2. Gibt es weitere Kriterien, die für die Maßnahme mit den transgenen Pappeln wichtig sind, aber noch nicht berücksichtigt wurden?
Wenn ja, dann ergänze die Tabelle!
3. Vergleiche nun alle drei Sanierungsmaßnahmen! Verschaffe dir dabei einen Überblick, indem du Plus- und Minuspunkte für jedes Kriterium und jede Maßnahme vergibst (++, +, 0, -, --)!
Kennzeichne auch, welche Kriterien dir besonders wichtig sind!
4. Für welche Maßnahme würdest du dich entscheiden? Begründe deine Entscheidung und schreibe die wichtigsten Gründe stichpunktartig auf! Du solltest in der anschließenden Gemeindeversammlung deinen Standpunkt vertreten können.

9.4 Literaturhinweise

1. Literatur zum Thema Gentechnik und transgenen Organismen allgemein:

- Kempken, F. & Kempken, R. (2006): Gentechnik bei Pflanzen. 3. Auflage. Heidelberg: Springer Verlag

2. Literatur zu transgenen Pappeln und anderen Gehölzen:

- Gentechnik bei Pappeln. Abrufbar unter: <http://www.biosicherheit.de/de/gehoelze/pappel/> (Abrufdatum: 04.02.2008)
- Öko-Institut e.V. (Hrsg.): Gentechnik-Nachrichten Spezial 7: Transgene Gehölze in der Forst- und Landwirtschaft. Abrufbar unter: http://www.biosicherheit.de/pdf/dokumente/oekoinstitut_spezial7.pdf (Abrufdatum: 04.02.2008)
- Peuke, A. D. & Rennenberg, H. (2005): Phytoremediation. EMBO Reports 6 (6), 497–501
Abrufbar unter: <http://www.nature.com/embor/journal/v6/n6/full/7400445.html> (Abrufdatum: 04.02.2008)
- Peuke, A. D. & Rennenberg, H. (2006): Heavy Metal Resistance with Transgenic Trees. In M. Fladung & D. Ewald (eds.): Tree transgenesis. Recent Developments. Heidelberg: Springer Verlag

3. Literatur zum Thema Bodensanierung:

- Hugo, A, Koch, M., Lindemann, H. & Robrecht, H. (1999): Altlastensanierung und Bodenschutz. Heidelberg: Springer Verlag

4. Fachdidaktische Literatur zum Kompetenzbereich Bewertung:

- Eggert, S., Barfod-Werner, I. & Bögeholz, S. (2008): Entscheidungen treffen - wie man vorgehen kann. In U. Harms (Hrsg.), Unterricht Biologie kompakt. Fächerübergreifend unterrichten. Jg. 32, Heft 336, 13-18.
- Bögeholz, S., Hößle, C., Langlet, J., Sander, E. & Schlüter, K. (2004). Bewerten – Urteilen – Entscheiden im biologischen Kontext: Modelle in der Biologiedidaktik. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 10. Jg., 89-115.
- Eggert, S. & Hößle, C. (2006). Bewertungskompetenz im Biologieunterricht. Ein Überblick. Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, 55 (1), 1-10.

9.6 Zu erwerbende Kompetenzen

Kompetenzbereich **Fachwissen***

Bildungsstandards	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 des Gymnasiums	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 der Realschule
Die Schülerinnen und Schüler ...		
<ul style="list-style-type: none"> verstehen die Zelle als System. (F 1.1) 	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben Unterschiede zwischen prokaryotischen und eukaryotischen Zellen. (FW 2.2) 	<ul style="list-style-type: none"> erklären die Bedeutung des Zellkerns als Träger der Erbanlagen.
<ul style="list-style-type: none"> wechseln zwischen den Systemebenen. (F 1.5) 	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben Gene als DNA-Abschnitte, die Informationen zur Herstellung von Genprodukten enthalten. (FW 6.3) 	<ul style="list-style-type: none"> erläutern Züchtung und Gentechnik an einem Beispiel.
<ul style="list-style-type: none"> vergleichen die bakterielle, pflanzliche und tierische Zelle in Struktur und Funktion. (F 2.2.) 	<ul style="list-style-type: none"> erläutern exemplarisch den Zusammenhang zwischen Genen und der Ausprägung des Phänotyps. (FW 6.3) 	

*Die Bearbeitung der Materialien bietet sich idealerweise im Anschluss an eine Einheit zum Thema Genetik an, da genetisches Basiswissen zur Bearbeitung der Materialien notwendig ist. Konkret sollten die Schülerinnen und Schüler den Aufbau von eukaryotischen und prokaryotischen Zellen sowie die Funktion der einzelnen Zellorganellen beschreiben können. Außerdem sollten sie Gene als DNA-Abschnitte sowie deren Funktion als Informationsträger zur Herstellung von Genprodukten erklären können.

Kompetenzbereich **Erkenntnisgewinnung**

Bildungsstandards	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 des Gymnasiums	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 der Realschule
Die Schülerinnen und Schüler ...		
	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben komplexe Zusammenhänge strukturiert und sachgerecht. (EG 1.1) 	<ul style="list-style-type: none"> entnehmen aus komplexen Sachtexten und grafischen Darstellungen Informationen.

Kompetenzbereich **Kommunikation**

Bildungsstandards	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 des Gymnasiums	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 der Realschule
Die Schülerinnen und Schüler ...		
<ul style="list-style-type: none"> kommunizieren und argumentieren in verschiedenen Sozialformen. (K 1) 	<ul style="list-style-type: none"> reflektieren die Beiträge anderer und nehmen dazu Stellung. (KK 1) 	<ul style="list-style-type: none"> kommunizieren fachbezogen in verschiedenen Sozialformen und fassen erarbeitete Teilergebnisse selbstständig zu einem Gesamtergebnis zusammen.
<ul style="list-style-type: none"> werten Informationen zu biologischen Fragestellungen aus verschiedenen Quellen zielgerichtet aus und verarbeiten diese auch mit Hilfe verschiedener Techniken und Methoden adressaten- und situationsgerecht. (K 4) 	<ul style="list-style-type: none"> lösen komplexere Aufgaben in Gruppen, treffen dabei selbstständig Absprachen in Bezug auf Aufgabenverteilung und Zeiteinteilung. (KK 1) 	<ul style="list-style-type: none"> reflektieren und begründen Lösungsvorschläge anderen gegenüber.
		<ul style="list-style-type: none"> werten komplexe grafische Darstellungen und Sachtexte aus.
<ul style="list-style-type: none"> referieren zu gesellschafts- oder alltagsrelevanten biologischen Themen. (K 7) 	<ul style="list-style-type: none"> präsentieren Ergebnisse mit angemessenen Medien. (KK 2) 	<ul style="list-style-type: none"> stellen die Ergebnisse und Methoden biologischer Untersuchungen dar und argumentieren damit.

Kompetenzbereich **Bewertung**

Bildungsstandards	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 des Gymnasiums	Kompetenzen am Ende von Schuljahrgang 10 der Realschule
Die Schülerinnen und Schüler ...		
<ul style="list-style-type: none"> beschreiben und beurteilen Erkenntnisse und Methoden in ausgewählten aktuellen Bezügen wie zu Medizin, Biotechnik und Gentechnik, und zwar unter Berücksichtigung gesellschaftlich verhandelbarer Werte. (B 3) 	<ul style="list-style-type: none"> unterscheiden Werte, Normen und Fakten. (BW 1) 	<ul style="list-style-type: none"> beurteilen Maßnahmen und Verhaltensweisen zur Erhaltung der eigenen Gesundheit sowie zur sozialen (und globalen) Verantwortung.
	<ul style="list-style-type: none"> erörtern Handlungsoptionen einer umwelt- und naturverträglichen Teilhabe im Sinne der Nachhaltigkeit. (B 7) 	
	<ul style="list-style-type: none"> reflektieren die Sachinformationen für Problem- und Entscheidungssituationen in Hinblick auf Korrektheit und Begrenztheit der Aussagekraft. (BW 3) reflektieren die Wertentscheidung im Entscheidungsfindungsprozess. (BW 3) 	