

Klassiker digital interpretiert

Schülerinnen und Schüler erstellen mit dem *WickEditor* eigene Animationen zur Genregulation

Malte Biegler, Leon Wagner, Nina Meyerhöffer*

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Johannes-von-Müller-Weg 6, 55128 Mainz,

Korrespondenz: nmeyerhoeffer@uni-mainz.de

In diesem Beitrag wird ein schulisch erprobtes Unterrichtskonzept vorgestellt, in dem Schülerinnen und Schüler der Oberstufe den Ablauf der Endproduktrepression und der Substratinduktion als Beispiele prokaryotischer Genregulation mithilfe der kostenlosen Browseranwendung *WickEditor* animieren.

Stichwörter: digitale Animation, Genregulation, Substratinduktion, Endproduktrepression, Prokaryoten, *WickEditor*, iMovie, digitale Medien, Digitalkompetenzen

Einleitung

Die umweltabhängige gezielte Aktivierung und Deaktivierung der Genexpression ist eine für Lebewesen essenzielle Funktion, die Schülerinnen und Schüler (S*) im Biologieunterricht oft am Beispiel des Operon-Modells prokaryotischer Genregulation kennenlernen. In diesem Beitrag wird ein Unterrichtskonzept vorgestellt, in der S* ein digitales Animationstool nutzen, um den Ablauf dieses so wichtigen Prozesses an den Beispielen der Endproduktrepression und Substratinduktion darzustellen. Neben fachlichen Kompetenzen trainieren sie dabei digitale Kompetenzen, wie sie die Ständige Kultusministerkonferenz der Länder der Bundesrepublik Deutschland in ihrem Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ (2017) formuliert (Tabelle 1).

Kompetenzbeschreibung	
2.3.1.	Digitale Werkzeuge für die Zusammenarbeit bei der Zusammenführung von Informationen, Daten und Ressourcen nutzen.
3.1.1.	Mehrere technische Bearbeitungswerkzeuge kennen und anwenden.
3.1.2.	Eine Produktion planen und in verschiedenen Formaten gestalten, präsentieren, veröffentlichen oder teilen.
3.2.1.	Inhalte in verschiedenen Formaten bearbeiten, zusammenführen, präsentieren und veröffentlichen oder teilen.
3.2.2.	Informationen, Inhalte und vorhandene digitale Produkte weiterverarbeiten und in bestehendes Wissen integrieren.

Tabelle 1: Beschreibungen der mit dem Konzept geförderten digitalen Kompetenzen (KMK, 2017)

Fachlicher Hintergrund und Relevanz

Die Substratinduktion und die Endproduktrepression sind typische Beispiele einfacher Genregulationsmechanismen bei Prokaryoten. Sie sorgen dafür, dass Gene nur nach Bedarf ihrer Genprodukte transkribiert werden. So wird sichergestellt, dass die Menge an jeweiligem Genprodukt das für die Zelle notwendige Maß nicht übersteigt. Beide genannten Regulationsmechanismen basieren auf negativen Rückkopplungsschleifen. Im Falle der Substratinduktion sorgt erst eine ausreichende Menge des Substrats im Cytosol für die Aktivierung

der Gene – das Substrat fungiert als Induktor (vgl. Markl et al., 2019). Ein gängiges Beispiel ist das *lac*-Operon. Ist keine Lactose (= Substrat) vorhanden, bindet ein Repressorprotein, das von einem vorgeschalteten Regulatorgen codiert wird, an die Operator-Region der DNA und blockiert so die Transkription der Strukturgene (vgl. Markl et al., 2019). Liegt jedoch ausreichend Lactose im Cytosol vor, bindet diese an den Repressor und sorgt für dessen Dissoziation von der DNA durch Konformationsänderung. Anschließend können die Strukturgene abgelesen, die entsprechende mRNA synthetisiert und daraus schließlich die Genprodukte gebildet werden. Bei diesen Genprodukten handelt es sich um die β -Galactosidase, die β -Galactosid-Permease sowie die β -Galactosid-Transacetylase (vgl. Markl et al., 2019). Erstere sorgt für die Spaltung der Lactose in Glucose und Galactose. Diese Spaltung reduziert die Menge des Induktors Lactose im Cytosol, was dazu führt, dass diese nicht mehr an den Repressor bindet. Der Repressor kann daraufhin wieder an den Operator binden und die Transkription blockieren, bis sich erneut Lactose im Cytosol anreichert.

Ein ähnliches Prinzip findet sich im Falle der Endproduktrepression. Hier sorgt das Endprodukt des Stoffwechselweges für die Aktivierung eines Repressors. Ein Beispiel hierfür ist das *trp*-Operon. Liegt dessen Endprodukt Tryptophan nicht in ausreichender Menge vor, werden die Strukturgene von der RNA-Polymerase transkribiert und die mRNA in Proteine translatiert, die wiederum für die Synthese von Tryptophan sorgen (vgl. Markl et al., 2019). Dieses bindet an den inaktiven Repressor, der von einem vorgeschalteten Regulatorgen codiert wird, und sorgt so für dessen Aktivierung. Der aktive Repressor bindet an den Operator und blockiert so die Transkription, bis die Tryptophankonzentration im Cytosol wieder unter den Schwellenwert gesunken ist. Dann dissoziiert der Repressor von der DNA und die Transkription kann ungehindert ablaufen.

Genregulationsmechanismen ermöglichen die Anpassung der Proteinbiosynthese an die aktuellen Umweltbedingungen der Zelle und bewirken durch die gezielte Hemmung der Transkription eine Einsparung von Energie, die für das Überleben unabdingbar ist. Weil die eukaryotische Genregulation weitaus komplexere Prozesse aufweist, wird im Biologieunterricht meist das Operon-Modell der Prokaryoten genutzt, um den S^* grundlegende Mechanismen der gezielten Regulation begreifbar zu machen. Für das hier beschriebene Vorgehen sollten die S^* die Grundlagen der Molekulargenetik erarbeitet haben, also Kenntnisse über den Aufbau der DNA und die Funktion der RNA-Polymerase und mRNA besitzen. Des Weiteren sollten die S^* mit dem Ablauf der Proteinbiosynthese vertraut sein und die Prozesse der Transkription bzw. Translation erläutern können.

Einsatz des *WickEditors* im Biologieunterricht

Vorschlag zur methodisch-didaktischen Einbettung

Da es sich bei der Genregulation um einen Prozess handelt, bietet sich das Erstellen einer Animation an. Im Vergleich etwa zu einer schematischen Abbildung zeigt eine Animation Prozesse

Schritt für Schritt auf, was die S* zur sichernden und zugleich tieferen Durchdringung des Lerngegenstands auffordert. Zur Abschätzung des Innovationsgrades beim Einsatz digitaler Medien wird oft das SAMR-Modell von Puentedura (2006) als Referenz genommen. Die vorgestellte Erarbeitungsaufgaben sind ohne den Einsatz digitaler Medien nur sehr erschwert (z.B. als Daumenkino) umsetzbar, weshalb sie den höheren Stufen des SAMR-Modells (Puentedura, 2006) zugeordnet werden können. Bevor sie Genregulationsprozesse animieren, müssen die S* das zugrundeliegende Fachwissen erarbeiten. Ein Einstieg in die Thematik ist, die S* Bilder gebräunter und weniger gebräunter Haut kommentieren zu lassen. Viele S* kennen das Phänomen, dass von Kleidung bedeckte Hautabschnitte vor allem im Sommer deutlich heller erscheinen als Abschnitte, die häufig der Sonne ausgesetzt sind. Mit Rückblick auf die zuvor erarbeitete Genexpression wirft dies die Frage auf, wie Zellen desselben Zelltyps und Organismus abhängig von Umweltfaktoren differenziert Gene (in diesem Fall zur Bildung von Melanin) exprimieren können. Falls dieser Einstieg gewählt wird, ist es wichtig zu betonen, dass die Prinzipien der Genregulation zugunsten der Anschaulichkeit zunächst anhand der übersichtlicheren Prokaryoten betrachtet werden. Die eukaryotische Genregulation kann vor allem in Leistungskursen als vertiefendes Thema im Anschluss thematisiert werden. Nachdem die Fragestellung der Einheit formuliert ist, lernen die S* Beispiele prokaryotischer Genregulation kennen. Dabei beschäftigt sich die Hälfte des Kurses mit der Endproduktrepression am Beispiel des *trp*-Operon und die andere Hälfte mit der Substratinduktion am Beispiel des *lac*-Operon. Diese zwei Beispiele zum genregulatorischen Prinzip der negativen Rückkopplung lassen sich durch eine arbeitsteilige Gruppenarbeit mit je zwei bis drei Personen effizient erarbeiten.

Arbeitsblätter

Die fachlichen Hintergründe werden den S* anhand von Informationstexten aufgezeigt. Das ist einerseits wissenschaftspropädeutisch und weist andererseits im Gegensatz zu Videos oder ausführlichen Schemata keine medialen Dopplungen mit den zu erstellenden Animationen auf. Weil die graphische Darstellung zum Teil selbst erarbeitet wird, müssen sich die S* vertiefter mit den Prozessen auseinandersetzen, als wenn sie vorhandene Abbildungen kopieren oder leicht abwandeln. Um die Informationstexte zu den jeweiligen Regulationsmechanismen zu durchdringen, sind diesen Erarbeitungsschritte (Aufgaben 1a – c) angefügt. Zunächst verschaffen sich die S* durch Begriffsdefinitionen einen Überblick über die relevanten Bestandteile des Operon-Modells. Ihr Verständnis unterstützt hierbei eine unvollständige schematische Abbildung unterhalb der Texte. Anschließend entnehmen die S* dem Text die einzelnen Schritte des Regulationsmechanismus. Sie übertragen diese in eine übersichtliche Liste, welche später als Grundlage für die Erstellung der Animation genutzt wird. Wichtig bei dieser Aufgabe ist, dass die S* nicht nur den Informationstext abschreiben, sondern die Abläufe chronologisch ordnen und mit dem Einfluss von Umweltfaktoren (dem Vorhandensein von Laktose bzw. Fehlen von Tryptophan) verbinden. Mit der nächsten Aufgabe wird abermals die Erstellung der Animation vorentlastet, indem die S* eine schematische Darstellung der über die Abbildung hinaus benötigten Bestandteile des Operon-Modells entwickeln. Als optionale Hilfestellung oder zur Überprüfung der

eigenen Zeichnung können hier die angefügten Abbildungen mithilfe eines QR-Codes zur Verfügung gestellt werden. Wenn die Erarbeitungsaufgaben auf digitalen Endgeräten erledigt werden, können die S* ihre eigenen Zeichnungen direkt weiterverwenden. Die Erarbeitungsaufgaben lassen sich auch teilweise (oder nach Prinzip des *Flipped Classroom* ganz) außerhalb der Unterrichtszeit anfertigen.

Vor der Erstellung der Animationen (Aufgabe 2a) ist eine inhaltliche Zwischensicherung der Ergebnisse aus Aufgabe 1 ausschlaggebend, da fachliche Fehler in der Animation später nur aufwändig zu korrigieren sind. Zu den zu überprüfenden Inhalten zählen hier der Aufbau des jeweiligen Operons und die Funktion der einzelnen Bestandteile. Hier bietet sich ein Austausch zwischen arbeitsgleichen Gruppen an, da unterschiedliche Auffassungsweisen der Informationen so erkannt und diskutiert werden können. Gleichzeitig können inhaltliche Fragen und Verständnisschwierigkeiten geklärt werden. Zur Steigerung der Effizienz und zur breiteren Aktivierung der Lernenden kann ein kollaboratives Tool wie *TaskCards* (www.taskcards.de) genutzt werden, in das die S* in den Kleingruppen ihre Ergebnisse übertragen. Die anschließende Thematisierung der wichtigsten Diskussionspunkte sowie Beispiele fachlich korrekter Schemata im Plenum stellen sicher, dass die S* gut vorbereitet in die Erstellung ihrer Animation gehen. Vorentlastend können die S* außerdem vorab Qualitätskriterien einer Animation sammeln, die bei der Reflexion der Ergebnisse für die Rückmeldung genutzt werden können. Eine ergänzbare Anregung dazu befindet sich in den Materialien.

Animation der Genregulation mit dem *WickEditor*

Der *WickEditor* (www.wickeditor.com) ist eine open-source Browseranwendung, die auf allen gängigen Betriebssystemen aufgerufen werden kann und für die Erstellung einfacher Animationen entwickelt wurde. Sie ist kostenlos und ohne Registrierung nutzbar. Im Gegensatz zu vielen komplexeren Produkten ist die Bedienung des Werkzeugs sehr intuitiv und die wichtigsten Funktionen sind innerhalb kurzer Zeit mithilfe des Tutorials auf der Website vermittelt. Eigene Animationsprojekte können zur späteren Weiterarbeit lokal abgespeichert und nach Abschluss im gif- oder mp4-Format exportiert werden. Die Wiedergabegeschwindigkeit kann direkt im Editor über die Frame Rate eingestellt werden oder anschließend über das gewählte Abspielprogramm.

Besonders nützlich am *WickEditor* für den Unterricht ist, dass neben manuellen Zeichnungen auch fertige Abbildungen eingefügt werden können. Im vorgestellten Kontext wird diese Option zur Binnendifferenzierung und Zeitersparnis genutzt, indem die S* die einzelnen Bestandteile der Operon-Modelle ausgeschnitten über eine Dateiablage zur Verfügung gestellt bekommen. Die Abbildungen sind diesem Beitrag als Folien angefügt und können dort individuell angepasst werden. Die S* fügen diese Abbildungen in ihr Projekt ein und animieren durch Verschiebung sowie zeichnerische Ergänzungen den Genregulationsmechanismus. In dieser Phase ist es hilfreich, die Bildschirmaufteilung des Tablets zu nutzen, sodass die Abbildungen mit einer Geste aus ihrer Quelle per Drag-and-Drop in den Editor platziert werden. Den Gruppen ist freigestellt,

inwieweit sie von diesen Vorlagen Gebrauch machen oder die Bestandteile des Operon-Modells selbst zeichnen. Letzteres erfordert allerdings deutlich mehr Bearbeitungszeit.

Je nach Umfang des Projektes und des genutzten Browsers kann es zum gelegentlichen Einfrieren des *WickEditor* kommen. Dank der automatischen Sicherungsfunktion können S* jedoch nach erneutem Öffnen des Tools über „Aktualisieren“ oder die Website ihre Arbeit an derselben Stelle fortführen. Darüber hinaus empfiehlt es sich, in größeren Abständen das bisherige Projekt lokal zu speichern. Während dem *WickEditor* von den S* in der Erprobung eine gute Bedienbarkeit am Tablett mit Stift attestiert wurde, sind für umfangreiche Animationsprojekte eine Maus und eine Tastatur von Vorteil, da sie ein ergonomischeres Arbeiten ermöglichen.

Für den Fall, dass es trotz der Zwischensicherung von Aufgabe 1 zu Verständnisschwierigkeiten bei der Erstellung der Animationen kommt, wurden Abbildungen vorbereitet, die den Ablauf der Substratinduktion bzw. der Endproduktrepression mit den von den Arbeitsblättern bekannten Schemata bildlich darstellen und als optionale Hilfestellung an die S* in Form eines QR-Codes ausgegeben werden können. Diese befinden sich in den angefügten Folien. Zur weiteren Vertiefung sollen die Gruppen beim Erstellen der Animation auch zwei Verständnisfragen formulieren (Aufgabe 2b), die ihre Mitschüler*innen mithilfe der Ergebnisse beantworten können sollen. Es bietet sich an, diese Fragen möglichst früh in der Erarbeitungsphase zu erdenken, da sie Entscheidungen bei der Darstellung der Inhalte beeinflussen können. Zugunsten der zeitlichen Effizienz kann dies auch innerhalb der Kleingruppe arbeitsteilig erfolgen.

Abhängig von der vorhandenen Zeit und den Zielsetzungen können die S* ihre erstellte Animation unkommentiert vorführen, erläuternd präsentieren oder mithilfe von z.B. *iMovie* eine Tonspur zur Erklärung hinterlegen. In der Erprobung war es aufgrund der unterschiedlichen Darstellungen stellenweise schwierig, die Animationen ohne Erläuterung zu verstehen. Auch zugunsten einer multimedialen Kommunikation empfiehlt es sich daher, eine der beiden vorgeschlagenen Audiokomponenten mit einzubauen. In diesem Fall sollte sich vorher mit dem Kurs darüber abgestimmt werden, ob den Animationen auch Beschriftungen und erklärender Text hinzugefügt werden sollen oder ob dies über gesprochene Inhalte abgedeckt wird. Damit jede Gruppe für ihre Animation eine dem Aufwand angemessene Wertschätzung erfährt, erfolgt die Präsentation zunächst in Kleingruppen, in denen sich die S* gegenseitig Feedback mithilfe der zuvor festgelegten Kriterienliste geben. So können bereits erste Verständnisfragen geklärt werden. Exemplarisch werden dann im Plenum einige Animationen gezeigt und wichtige Diskussionspunkte thematisiert.

Erfahrungswerte aus schulpraktischer Erprobung

Die Erprobung des hier vorgestellten Unterrichtskonzepts erstreckte sich auf knapp sechs Schulstunden. Die Arbeitszeit für die Erstellung der Animationen mit dem *WickEditor* betrug inklusive der technischen Einführung durch Zeigen des Tutorials etwa 70 Minuten, wenn die S* die

zur Verfügung gestellten Abbildungen der Bestandteile der Operon-Modelle nutzten. Zwei Kleingruppen entschieden sich dafür, selbst alle Bestandteile der Animation zu zeichnen und benötigten dafür zusätzliche Zeit zur Fertigstellung zu Hause.

Es zeigten sich einige inhaltliche und methodische Stolpersteine, auf die es zu achten gilt. In manchen Fällen wurden inhaltliche Fehlkonzepte erst bei der Erstellung der Animationen sichtbar. Beispielsweise animierte eine Gruppe den Promotor als mobiles Element, das zusammen mit der RNA-Polymerase an der DNA entlangwanderte. Die vorab beschriebene gründliche Zwischensicherung sollte derlei Fehlern in gewissem Maße vorbeugen. Treten sie trotzdem auf, dann lassen sie sich bei früher Erkennung in der Erarbeitungsphase eventuell noch korrigieren oder sollten spätestens in der Sicherungsphase identifiziert und richtiggestellt werden. Unter diesem Gesichtspunkt bietet es sich sofern möglich an, die fertigen Animationen vor der Sicherung zu sammeln und vorab zu sichten.

Während einige Gruppen sich sehr schnell in den *WickEditor* eingearbeitet hatten, brauchten andere viel Hilfestellung bei der Bedienung des Webtools. Obwohl nicht unerwartet, führte dies zu zeitlichen Engpässen und nahm den Fokus weg vom eigentlichen Unterrichtsgegenstand. Da die Affinität zu digitalen Werkzeugen bei S* sehr unterschiedlich ausgeprägt ist, könnte eine überlegte Gruppeneinteilung diesen Problemen entgegenwirken. Je nachdem, ob nur einzelne Gruppen Schwierigkeiten haben, gilt es zu entscheiden, ob zusätzlich Zeit gewährt wird, ob Animationen als Hausaufgabe fertiggestellt werden oder ob nicht fertiggestellte Teilprodukte evaluiert werden.

Ebenfalls gruppenabhängig war der Grad der Involviertheit der beteiligten S*. Der *WickEditor* hat (zumindest bisher) keine Kollaborationsfunktion, weshalb nicht mehrere Personen auf ihren Geräten am selben Projekt arbeiten können. Viele Gruppenmitglieder zeigten hohes Engagement durch rege Diskussionen auch dann, wenn sie nicht selbst den *WickEditor* bedienten. Bei einer Gruppengröße von drei Personen in der Erprobung nutzten aber einzelne S* dies als Anlass zur Zurückhaltung. Neben pädagogischen Apellen kann hier eine gezielte Reduktion der Gruppenstärke auf zwei Personen Abhilfe schaffen.

Der zeitliche und methodische Aufwand für das Animationsprojekt ist gemessen am inhaltlichen Ertrag zweifelsfrei groß. Dabei ist jedoch zu betonen, dass die S* mit der Erstellung ihrer eigenen Animation nicht nur inhaltliche, sondern auch diverse Digitalkompetenzen entwickeln, die diesen Aufwand legitimieren können (vgl. Tabelle 1). Gewisse Entlastung wäre möglich, wenn die S* sich schon in einem vorherigen Unterrichtsabschnitt, z.B. zur Proteinbiosynthese, mit dem Thema Animationen beschäftigen, indem sie beispielsweise eine fertige Animation aus dem Internet vertonen und reflektieren. So lernen die S* das Medium kennen und entwickeln ein Gefühl dafür, wie eine Animation aussehen kann und welche Aspekte bei einer solchen zu beachten sind, bevor sie selbst eine erstellen. Außerdem sind die Kompetenzen, die für die Vertonung einer Animation benötigt werden, weniger komplex als die, die für die selbstständige Erstellung einer Animation erforderlich sind. Organisatorisch bedingt war in der Erprobung die Vertonung einer fertigen Animation den hier beschriebenen Stunden nachgestellt. Laut Aussagen der S* hätten diese die

methodische Umkehrung hilfreich gefunden. Mehrheitlich beurteilten die teilnehmenden S* das Konzept jedoch als motivierend und Verständnis fördernd.



Bild 1: Thumbnail des Tutorial-Videos mit dem Logo des *WickEditor*.

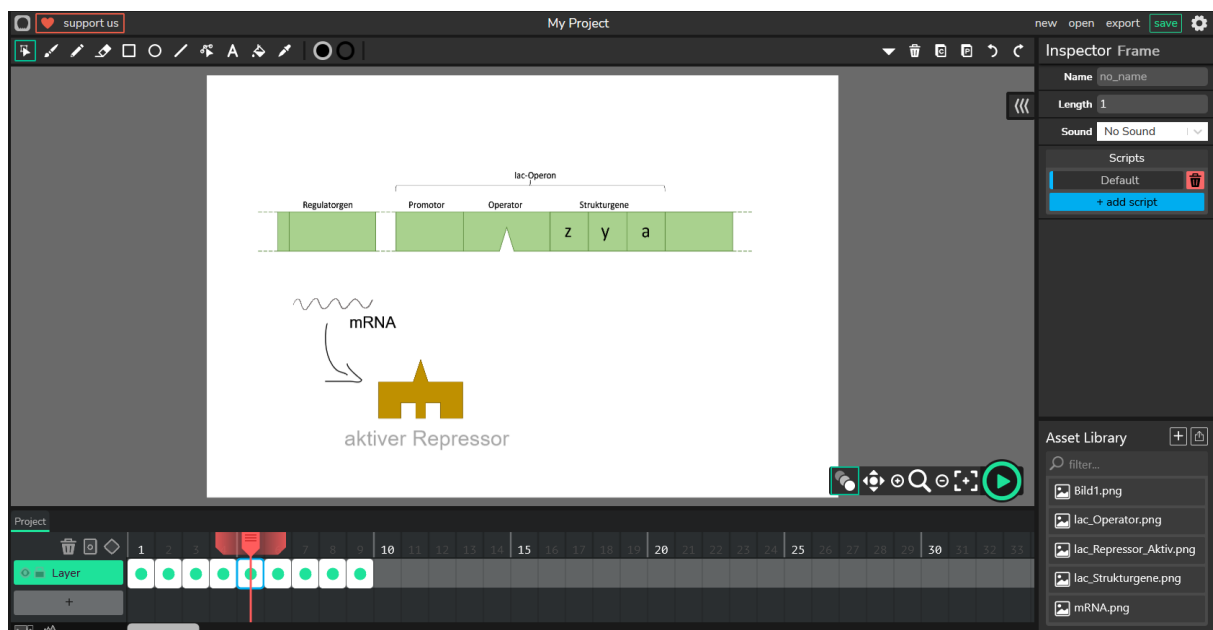


Bild 2: Oberfläche des *WickEditors* mit geöffnetem Projekt, in das Bestandteile des *lac*-Operon-Modells eingefügt wurden.



Bild 3: S* erklären sich in Kleingruppen gegenseitig ihre mit dem *WickEditor* selbst erstellten Animationen.

Literatur

KMK (Kultusministerkonferenz). (2017). *Bildung in der digitalen Welt – Strategie der Kultusministerkonferenz (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.12.2016)*. Berlin: Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.

Markl, J., Sadava, D., Hillis, D. M., Heller, C. H., Hacker, S. D., Held, A., Jarosch, B., Seidler, L., Niehaus-Osterloh, M., Sixt, E. & Delbrück, M. (2019). *Purves Biologie* (10. Aufl. 2019). Springer Spektrum.

Puentedura, R. (2006). *Transformation, technology, and education* [Blogartikel]. Abgerufen von <http://hippasus.com/resources/tte/>.

Materialliste

Diesem Beitrag angefügt sind folgende Materialien angefügt:

1. jeweils ein Informationstext und Arbeitsaufträge zu den Themen *Substratinduktion* und *Endproduktrepression*
2. Beispiel einer Feedback-Rubrik, die zur Auswertung der Animationen genutzt werden kann
3. Bilddateien einzelner Bestandteile der *lac*- und *trp*-Operon-Modelle, die den S* für ihre Animation zur Verfügung gestellt werden
4. Folien mit schematischen Abbildungen:
 - a. Lösungsvorschläge für die Aufgaben 1d (werden zur Selbstüberprüfung oder als Hilfskarten z.B. über einen QR-Code zur Verfügung gestellt)
 - b. vollständige Schemata der Operon-Modelle als optionale Hilfe bei Verständnisschwierigkeiten
 - c. einzelne Bestandteile der Operon-Modelle zur individuellen Anpassung (werden als Bilder mit Transparenz exportiert)
5. Beispiel für die Animation der Substratinduktion mit dem *WickEditor*