

Themenheft Nr. 56: Making & more: gemeinsam Lernen gestalten.

Herausgegeben von Bernadette Spieler, Manuela Dahinden, Klaus Rummler
und Tobias M. Schifferle

BioTinkering – Biologie als faszinierendes Making-Thema in den Naturwissenschaften

Überlegungen zur Konzeption und Durchführung von BioTinkering-Aktivitäten

Florian Furrer¹ , Juanita Schläpfer-Miller² , Bernadette Spieler¹ 
und Manuela Dahinden² 

¹ Pädagogische Hochschule Zürich

² Eidgenössische Technische Universität (ETH) Zürich

Zusammenfassung

BioTinkering als Making-Aktivität in der Biologie begeistert Schüler:innen für die Pflanzenwelt und kann den naturwissenschaftlichen Unterricht durch überfachliche, digitale, prozessbasierte und produktorientierte Projektarbeiten bereichern. Dieser Artikel stellt Making-Aktivitäten im Themenbereich Pflanzenbiologie vor und diskutiert deren Kompetenzorientierung im Rahmen des Schweizerischen Lehrplan 21. Da sich BioTinkering anhand verschiedener Bereiche konstituiert, kann damit eine Vielzahl von Kompetenzen geschult werden. Im Artikel werden zur Vermeidung von Missverständnissen aufgrund der Multidisziplinarität eingangs Begriffsklärungen gegeben. Darauf folgend stellen wir Vorteile und Herausforderungen in Form von drei Thesen vor. Diese beinhalten (1) den Bezug von BioTinkering zum traditionellen naturwissenschaftlichen Unterricht, (2) die Thematisierung der Komplexität und des Zeitbedarfs sowie (3) die Förderung überfachlicher Kompetenzen. Im Anschluss diskutieren wir die Entwicklung und Erprobung von BioTinkering-Aktivitäten durch das CreativeLabZ des Zürich-Basel Plant Science Centers und stellen einen Leitfaden zur Anleitung von BioTinkering-Aktivitäten vor. Die Evaluationsresultate zeigen, dass BioTinkering sowohl für Lehrpersonen als auch für Schüler:innen interessant und kompetenzerweiternd ist.

Biotinkering – Biology as a Topic of Fascination for Making-Activities in Science Education

Abstract

BioTinkering as a biology topic for making activities gets students excited about the world of plants and contributes to science education by including interdisciplinarity, digital tools, process-based and product-oriented project work. This article presents making activities related to plant biology and discusses their relation to competences of the Swiss school curriculum Lehrplan 21. BioTinkering, being constituted from multiple disciplines, can develop and train a plethora of competences. Since the term and practice of BioTinkering is constituted from various subject areas, the used terminology is explained at the beginning of the article to avoid misunderstandings. Additionally, we present advantages and challenges in the form of three theses. These include (1) how BioTinkering relates to traditional science education, (2) addressing complexity and time requirements, and (3) the approach towards the development of cross curricular competencies. Subsequently, we discuss the BioTinkering activities and facilitator guide provided by the CreativeLabZ of the Zurich-Basel Plant Science Center. The evaluation results show that BioTinkering is interesting and enriching for both teachers and pupils.

1. Einleitung

Die Naturwissenschaften (insbesondere Biologie, Chemie, Physik) sind Teil der MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik), welche aufgrund ihrer interdisziplinären Ausrichtung im Schweizer Lehrplan 21 im Verbund als NMG (Natur-Mensch-Gesellschaft, Zyklus 1–2) und NT (Natur und Technik, Zyklus 3) unterrichtet werden (D-EDK 2016).

Biologie ist die Wissenschaft vom Leben, das heisst aller Lebewesen, und schliesst per definitionem Menschen, Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen ein. Die Biologie und speziell die Pflanzenwelt vermag auf den ersten Blick als ein aussergewöhnlicher Fokus für schulische Making-Aktivitäten erscheinen. Allerdings sind Problemlöseprozesse auch in der Biologie von grosser Bedeutung und können daher nebst klassischen naturwissenschaftlichen Experimenten, beispielsweise Extraktionen von Duft- oder Farbstoffen, im Schulunterricht in Form offener Projektarbeit gefördert werden (Kremer et al. 2019). Freies Entdecken, offene Lernräume und problembasierte oder projektorientierte Aufgaben mit Pflanzen – und wo sinnvoll der Einbezug digitaler Werkzeuge – sind Gegenstand unserer BioTinkering-Auffassung.

Zur Schaffung einer Basis für ein gemeinsames Verständnis definieren und verorten wir in einem ersten Teil des Artikels zentrale Begriffe. Im weiteren Verlauf formulieren und diskutieren wir drei Thesen, stellen erprobte Angebote vor und geben Einblicke in die Evaluationsresultate. Zum Schluss geben wir einen Ausblick bezüglich der Erkenntnisse und Implikationen für die Weiterentwicklung.

2. Begriffe

2.1 *Making*

Making, teils auch als Maker-Education bezeichnet, ist eng mit den MINT-Disziplinen verbunden, zu welchen die Biologie gehört (Bullock und Sator 2015; Blikstein 2018; Taylor 2016; Hsu, Baldwin, und Ching 2017). Making stellt eine Art des Lernens und Kreierens dar, bei welcher das kreative Erschaffen und Finden von verschiedenen oder sogar neuartigen Problemlösungen besonderes Gewicht erhält und die Lernenden durch das Einbringen eigener Interessen und Stärken motiviert werden (Merz 2019; J.-Y. Kim et al. 2020; Resnick und Silverman 2005). Hierbei zeigt sich der Making-Ansatz als wichtig für die MINT-Bildung, da er Wissenschaft und Technik in sinnvolle und wertschätzende Aktivitäten einbettet (Yanez et al. 2019). Dadurch werden nebst der Erweiterung von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Wissen im Sinne einer Kompetenz auch die Bereitschaft, die Haltungen und die Einstellungen, sich mit selbstgestellten Fragen auseinanderzusetzen, Antworten zu suchen und diese wiederum zu hinterfragen, geschult (D-EDK 2016). Das aktive Testen und Scheitern ist ebenso Bestandteil, wie mögliche Zweifel und Unsicherheiten aufgrund der Offenheit, die es auszuhalten gilt (Petrich, Wilkinson, und Bevan 2013). Obwohl im bisherigen Diskurs vielerlei Definitionen entstanden sind, bilden oftmals ein freies Entdecken, offene Lernräume und problembasierte oder projektorientierte Aufgaben wichtige Voraussetzungen für Making (Halverson und Sheridan 2014). Hierbei ist der Einbezug praktischer Arbeitsphasen mit starkem Tüftel-Charakter ein markanter Unterschied zum herkömmlichen Unterricht (Kleeberger und Schmid 2019; Bullock und Sator 2015, 76; Dougherty 2012). Zudem beinhaltet der Making-Ansatz Design-Thinking-Methoden und nutzt heute systematisch den Einbezug digitaler Werkzeuge, auch wenn dies kein unumstößliches Kriterium darstellt (Bevan 2017; Bullock und Sator 2015; Mingjie, Yongqi, und Ping 2016). Das pädagogische Grundverständnis dieses Making-Ansatzes hat seinen Ursprung im Konstruktivismus (Papert 1986). Dieser versteht Lernen als eigenaktive Entwicklung eines Verständnisses im Gegensatz zu einer transmissiven «Verabreichung» von Wissen, wodurch der Lerninhalt eine persönliche Bedeutung erhält (Gebhard, Höttecke, und Rehm 2017). Durch dieses Verständnis wird den Lernenden eine grössere Verantwortung für ihr Lernen

übergeben und die Rolle der Lehrperson verändert sich. Sie nimmt verstärkt die Funktion eines Begleiters oder einer Begleiterin im Lernprozess ein (Merz 2019). Der Konstruktivismus erweitert wiederum das Verständnis des Konstruktivismus durch den Fokus auf die Herstellung von für die Lernenden bedeutsamen Produkten und bildet damit die Grundlage des Making-Ansatzes (Papert 1986).

Bezüglich der Themenwahl verfolgen Making-Aktivitäten eine stark interdisziplinäre Ausrichtung (Marshall und Harron 2018) und arbeiten mit ihren Fragestellungen teils an übergeordneten Zielen (Ebner, Schön, und Narr 2016; Bevan 2017; Schön et al. 2019; Lucas und Spencer 2017). Häufig sind diese im Bereich der Nachhaltigen Entwicklung zu finden (vgl. Bullock und Sator 2015). Durch den Making-Ansatz werden jeweils Inhalte thematisiert, welche in diesem Moment zur Bewältigung der Problemstellung als relevant erscheinen, wodurch eher ein Learning-On-Demand an die Stelle des Vorratslernens tritt (Hsu, Baldwin, und Ching 2017; Gershenfeld 2005; Yanez et al. 2019). Die Auseinandersetzung mit realen (Umwelt-)Problemen ist eine Stärke des Making-Ansatzes und kann für die notwendige Sensibilisierung bezüglich Nachhaltigkeitsthemen genutzt werden (Otto und Pensini 2017). Im Fall von BioTinkering können durch die Auseinandersetzung mit Pflanzen, Bezüge zur natürlichen Umwelt geschaffen werden, wodurch die Motivation und der Handlungswille, sich für Nachhaltigkeitsthematiken einzusetzen, gestärkt werden können (Otto und Pensini 2017; Sipos, Battisti, und Grimm 2008).

2.2 *BioTinkering*

BioTinkering ist in der Schnittmenge zwischen Making und dem Naturwissenschaftsbereich mit besonderem Fokus auf die Biologie einzuordnen. So wird beispielsweise Wissen über pflanzenbiologische Mechanismen durch Beobachten, Explorieren, Beschreiben, Untersuchen, Hinterfragen, Nachgestalten und Testen aufgebaut.

In diesem Artikel verfolgen wir ein Verständnis, welches BioTinkering als ein prozessbasiertes (vgl. Abb. 3) sowie produktorientiertes Making (vgl. Definition Konstruktivismus im Kapitel 2.1 Making) versteht, insbesondere als kreativen Problemlöseprozess, welcher durch Themen- und Materialvorgaben eingegrenzt wird. BioTinkering-Aktivitäten sind wie Making-Aktivitäten generell stark interdisziplinär ausgerichtet, wobei vor allem der Hauptthemenbereich beziehungsweise das Erkenntnisinteresse dem biologischen Bereich entstammt. Die hier verwendete Art des BioTinkering ist nicht zu verwechseln mit dem teilweise verwendeten Begriff des BioHackings, wo es beispielsweise darum geht, DNA-Modifikationen zu erproben oder die Fähigkeiten des menschlichen Körpers zu erweitern (vgl. Anderson 2012; Delfanti 2012). Stattdessen werden in den später in diesem Artikel vorgestellten Angeboten wissenschaftliche Fragestellungen mit digitalem Design, informatischen Konzepten und ästhetischer Gestaltung kombiniert.

BioTinkering-Aktivitäten im naturwissenschaftlichen Unterricht ermöglichen eine vertiefende Auseinandersetzung mit natürlichen Prozessen und Materialien. Ein Beispiel für BioTinkering-Lerngelegenheiten ist das Lernen darüber, wie Pflanzen funktionieren und wie sie mit ihrer Umgebung interagieren. Dies geschieht durch die Nachgestaltung von pflanzlichen Bewegungen, Interaktionen, Signalen oder Rhythmen. Durch das aufmerksame Beobachten der vorhandenen Lösungen in der Natur wird ein Aktionsrahmen festgelegt, innerhalb dessen Schüler:innen die Möglichkeit für autonomes Erschaffen mit Materialien und Werkzeugen haben. Die erkannten Funktionsweisen und Prinzipien werden mit den Mitteln des Makings (bspw. 3D-Druck, Lasercutting etc.) nachgebildet und erprobt (siehe Abb. 1). Die Schüler:innen erhalten dadurch die Möglichkeit, sich mit physikalischen Fachinhalten (z. B. mechanischen Kräften, Osmose, Turgor, Lichtreflexion und -absorption, akustischen Resonanzen, elektrischen Schaltkreisen), chemischen Fachinhalten (Duftstoffen, Materialkunde, Energie- und Stoffumwandlungen), sowie biologischen Fachinhalten (Stoffkreisläufen, Fortpflanzung oder Ökosystemen) auseinanderzusetzen, indem sie beobachten, recherchieren sowie Fragen und Hypothesen formulieren. Letztere sind die Grundlage für die Entwicklung und Konstruktion der eigenen Gestaltungs-ideen.

Die praktische Umsetzung kann durch technische Konstruktionen, Programmierung von Mikrocontrollern oder den Bau von Messgeräten und Sensoriken ergänzt werden. Dadurch werden Kompetenzen im Umgang mit Daten und algorithmisches Denken aufgebaut, gefestigt und der Transfer auf naturwissenschaftliche Inhalte geleistet (Resnick und Rusk 2020). Die resultierenden Ergebnisse sind beispielsweise mechanische Pflanzenmodelle, die auf Umweltveränderungen reagieren, Programmierspiele, die Pflanzen-Insekten-Interaktionen simulieren, oder (Umwelt-)Messgeräte.

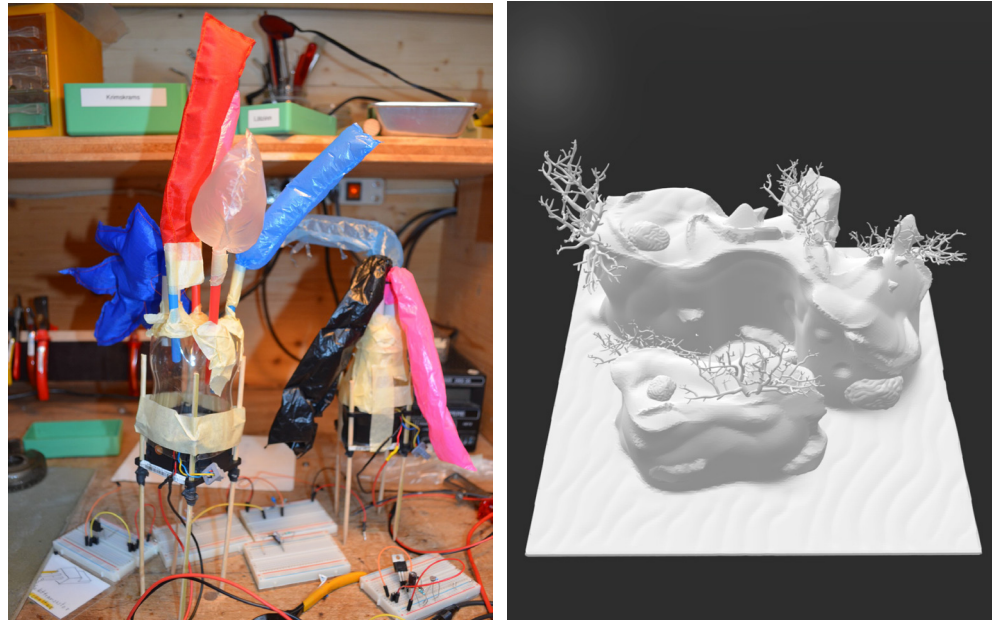


Abb. 1: Beispiele von BioTinkering-Produkten. Modell für den Klappmechanismus einer Mimose mittels elektrischer Schaltung (links), Riffmodell für den Küstenschutz mit Tinkercad konzipiert und 3D-gedruckt (rechts) (Quelle: <https://www.creativelabz.ethz.ch>).

BioTinkering-Aktivitäten bieten ausserdem aufgrund ihres Making-Charakters das Potenzial, an Themen der Nachhaltigen Entwicklung und dem Aufbau von BNE-Kompetenzen wie Vernetztes Denken und Verantwortungsvolles Handeln zu arbeiten (Schön et al. 2019; Rieckmann 2021). Im Zentrum von BioTinkering-Aktivitäten können Themen wie Recycling, Kreislaufwirtschaft, Erhaltung der natürlichen Ressourcen und konkrete Umweltproblemstellungen stehen (Burdiles Araneda et al. 2022). Bei dem Entwurf und der Ausarbeitung eines Making-Produkts werden Zusammenhänge zwischen Form und Funktion, Material und Funktion, sowie Materialität und Verarbeitung untersucht und getestet (siehe Abb. 2). Beispiele sind das ergebnisoffene Entwerfen von Alltagsgegenständen aus pflanzenbasierten Materialien (Stärke, Gelatine) oder das Recycling von Lebensmittelabfällen (Bananen- und Orangenschalen).



Abb. 2: Herstellung von Materialien aus Biokunststoffen aus Stärke (links) sowie Kaffeesatz und Brauereiabfällen (rechts). (Quelle: www.creativelabz.ch).

3. Argumentationen bezüglich des Einsatzes von BioTinkering

Anhand von drei Thesen argumentieren wir nachfolgend über den Mehrwert sowie die Schwierigkeiten des Einsatzes von BioTinkering im naturwissenschaftlichen Unterricht.

These 1: Der etablierte Biologieunterricht macht bereits BioTinkering-Aktivitäten

Die naturwissenschaftlichen Fächer bieten einen reichen Fundus an Problemstellung für den Einsatz und die Schulung des Making-Mindsets und daher auch für BioTinkering-Aktivitäten. Beispiele dafür sind die Fertigung und Erprobung eigener Messapparaturen und Verfahren, beispielsweise im Bereich der Temperatur-, CO₂- oder Feuchtigkeitsmessung. Das Simulieren und Nachbauen von biologischen Strukturen und Prozessen sowie deren Nutzbarmachung für technische Entwicklungen (Themenbereich Bionik), aber auch umfassendere Problemstellungen wie Making als Mittel zur Lösungsfindung im Bereich der Umwelt- und Nachhaltigkeitsthematik. Es drängt sich daher die Frage auf, ob Making den Naturwissenschaftsunterricht tatsächlich ergänzen kann oder ob es lediglich ein neuer Begriff für die bereits bestehende Praxis darstellt (Bullock und Sator 2015).

Das praktische Arbeiten stellt einen wichtigen Bestandteil des Makings wie auch des Naturwissenschaftsunterrichts dar (Bullock und Sator 2015). Diesem Umstand wird im Bereich des Naturwissenschaftsunterrichts in den Schweizer

Bildungsstandards und dem Lehrplan Rechnung getragen (EDK 2011, 13–14; D-EDK 2016, 254). Das naturwissenschaftliche Experimentieren ist hierbei wohl die bekannteste, wenn auch nicht einzige Form des praktischen Arbeitens. Zu beachten gilt es, dass der naturwissenschaftliche Experimentierbegriff nicht generell mit Making gleichgesetzt werden kann. Dies ist insofern missverständlich, da der Begriff des Experimentierens in der Alltagssprache weitläufig und auf den Unterricht bezogen häufig für verschiedene Formen naturwissenschaftlicher Untersuchungen verwendet wird (Kremer et al. 2019). In den Naturwissenschaften beschreibt das Experimentieren im engen Verständnis jedoch einen Prozess, der mittels gezielter Manipulation der Bedingungen und nachvollziehbar gewonnener Daten zu einer Erkenntnisgewinnung aufgrund valider Schlussfolgerungen führt, sodass Hypothesen überprüft werden können (Kremer et al. 2019; Mayer 2007). Das Experimentieren wird deshalb als eine Arbeitsweise verstanden, um Erkenntnisse über einen bestimmten Zusammenhang zu gewinnen (Höttecke und Riess 2015; Stiller et al. 2020). Diese Methode soll erlernt und eingeübt werden und kann für die Arbeit an verschiedenen Inhalten, beispielsweise im Bereich des BioTinkering eingesetzt werden. Als Schlussfolgerung lässt sich daher konstatieren, dass nicht jegliche Form des BioTinkering auch automatisch naturwissenschaftliches Experimentieren bedeutet.

Ein weiterer Unterschied des traditionellen Ansatzes naturwissenschaftlichen Unterrichts zum BioTinkering-Ansatz mit Making-Charakter ist, dass BioTinkering-Aktivitäten analog zu anderen Making-Aktivitäten im Kern stark projektbasiert und entdeckend ausgerichtet sind (vgl. für Making: Blikstein 2018; Hsu, Baldwin, und Ching 2017; Ingold, Maurer, und Trüby 2019; Halverson und Sheridan 2014; Maker Media 2013). Dies soll jedoch nicht suggerieren, dass der traditionelle Naturwissenschaftsunterricht diese Elemente nicht enthält. Selbstverständlich gibt es auch in diesem Unterricht Beispiele für lösungsweg- und ergebnisoffene Aktivitäten. So führt beispielsweise Priemer (2011) eine umfassende Betrachtung der Offenheit von Experimentieraufgaben aus. Darin wird unter anderem auch die Offenheit in Bezug auf die Wahl des Fachinhalts oder die verwendete Strategie erwähnt. Der Unterschied zum Making-Mindset ist die weniger starke Gewichtung dieser Aspekte. Sie stellen insofern keine unumstößlichen Forderungen dar, werden aber in praktischen Arbeitssequenzen obligatorischer Lehrmittel des Öfteren zwecks eines zeiteffizienten und ergebnisorientierten Vorgehens nicht verfolgt. Im Making hingegen sind die Aufgabenstellungen zumeist offener in Bezug auf den Lösungsweg, das Ergebnis sowie den Zeitbedarf und haben zusätzlich die Schulung eines Mindsets beziehungsweise einer bestimmten Herangehensweise an Problemstellungen zum Ziel (Blikstein 2018; Bullock und Sator 2015).

Es lässt sich daher aufgrund der Überschneidungen bei den Vorgehensweisen und Inhalten ein vermeintliches Spannungsfeld zwischen traditionellen Aktivitäten im Naturwissenschaftsunterricht und den vorgeschlagenen Making-Aktivitäten im

BioTinkering-Bereich feststellen (Bevan 2017). BioTinkering soll aber vielmehr als ein Teilbereich des Naturwissenschaftsunterrichts aufgefasst werden, welcher einen starken interdisziplinären Bezug herstellt und die naturwissenschaftliche Vorgehensweise nutzt. Es steht daher nicht in direkter Konkurrenz zu traditionellen Aktivitäten und möchte diese auch nicht ersetzen. BioTinkering ermöglicht stattdessen den Einbezug weiterer Disziplinen wie beispielsweise der Informatik (vgl. Blikstein 2018; Anderson 2012; Dougherty 2012; Mingjie, Yongqi und Ping 2016) oder des Technischen, Textilen und Bildnerischen Gestaltens (Opperman 2016).

Unsere Empfehlung für mehr BioTinkering-Aktivitäten im Naturwissenschaftsunterricht leitet sich auch daraus ab, dass naturwissenschaftliche Konzepte und Prozesse teils komplex, abstrakt und schwer verständlich sind (Gilbert 2008). Aktives Handeln im Verstehensprozess kann ein Mittel für vertieftes Verständnis sein und eigenständiges Lernen durch Erkunden, Erfahren und Machen fördern (Bullock und Sator 2015; Dougherty 2012). BioTinkering bietet für den Unterricht spannende thematische Ergänzungsmöglichkeiten. Anhang A zeigt eine Übersicht über mögliche Themenbereiche.

These 2: BioTinkering-Aktivitäten benötigen viel Zeit und sind komplex, sowohl für Schüler:innen als auch für Lehrpersonen

BioTinkering-Aktivitäten mit Making-Charakter sind in ihrem Kern, aufgrund des Einbezugs verschiedenlicher Disziplinen, offener Methoden sowie der starken Gewichtung praktischer Arbeit komplex und zeitaufwendig in der Umsetzung. Auf den ersten Blick erscheint es, dass viele Voraussetzungen erfüllt und Kompetenzen vorhanden sein müssen, um arbeiten zu können (bspw. technische Fähigkeiten wie Programmierkenntnisse). Dies sollen jedoch keine Argumente dafür sein, derartige Aktivitäten zu unterlassen, denn die Regulierung der Komplexität kann beispielsweise über die Auswahl des Inhalts, der Betrachtungs- und Verständnistiefe dieses Inhalts oder in der Wahl der Arbeitsform geschehen. Dabei sind wir der Meinung, dass nicht jede Phase des Making-Prozesses uneingeschränkte Offenheit zum Ziel hat. Der Grad der Offenheit ist ein wichtiges Element zur Anpassung der BioTinkering-Aktivität an die jeweiligen Bedingungen der Lernenden und die damit einhergehende notwendige Regulierung des kognitiven Anspruchs. Daraus ergibt sich für BioTinkering-Aktivitäten die Notwendigkeit, diese zu moderieren. Den Schüler:innen sollen je nach Alters- und Entwicklungsstufe unterschiedliche Wege angeboten werden, um sich mit der Aufgabe auseinanderzusetzen (vgl. Infokasten 1). Hierbei kann ein Grossteil des Vorgehens selbst bestimmt werden. Unterstützungsmassnahmen versuchen aber in jedem Schritt des Lernprozesses, mittels angepasster Instruktionen eine Lernzielorientierung der Aktivität sicherzustellen. Instruktive Vorgehensweisen sind in diesem Setting, wo für den Lernprozess sinnvoll, ebenfalls angedacht. Der Lernprozess

der Schüler:innen kann zusätzlich durch die Bereitstellung von technischen Anleitungen, verschiedenen Materialien, kreativen Denkanstößen, Alltagsbeispielen und Designprozessen unterstützt werden (Godec et al. 2020). Die Lehrperson agiert während des Prozesses als beratende Person (Schön, Ebner, und Narr 2020).

Abbildung 3 zeigt einen von uns entwickelten Leitfaden zur Anleitung von Bio-Tinkering-Aktivitäten. Der Prozess startet mit der Schaffung von *Inspiration* bei den Lernenden. Unsere bisherigen Erfahrungen zeigen, dass Aktivitäten mit vollständiger Offenheit nicht geeignet sind, um das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte zu unterstützen. Im Gegenzug ist jedoch eine starke Einschränkung der Möglichkeiten durch rezeptartige Arbeitsanleitungen und ein vorgegebenes Produktziel nicht im Interesse einer Making-Aktivität. Für die Erreichung dieses Teilschritts wird daher auf Naturbeobachtungen sowie Demonstrationen und Erklärungen von naturwissenschaftlichen Phänomenen und Mechanismen fokussiert. Dies wird wahlweise mit einem Labor- oder Museumsbesuch kombiniert, um einen Bezug zur Forschungswelt zu schaffen.

Im zweiten Schritt stehen die *Fähigkeiten* im Zentrum. Dazu gehört das Erlernen von handwerklichen, technischen, digitalen sowie kreativen Fähigkeiten als zentraler Baustein der Maker-Education (Boy und Sieben 2017). Erlernte Fähigkeiten wie beispielsweise der Umgang mit einem Lötkolben, das Konzipieren und Aufbauen von Stromkreisen, die Handhabung von 3D-Druckern oder Lasercuttern und das Programmieren von Mikrocontrollern ermöglichen den Lernenden, den anschließenden Gestaltungsprozess möglichst eigenständig zu gestalten. Für das Erlernen der Fähigkeiten muss den Schüler:innen die notwendige Zeit zur Verfügung gestellt werden, und die Sicherheit der Handhabung stellt ein wichtiges Lernziel dar.

Im dritten Schritt wird an der Definition und Umsetzung eines selbst gewählten Themas in Form einer *offenen Projektarbeit* gearbeitet. Die Lernziele dieses Prozessschrittes sind (1) das Formulieren einer eigenen Aufgabenstellung und (2) das technische und kreative Problemlösen durch das Gestalten eines konkreten Produkts oder Modells. Das Zusammenspiel von Arbeitsmethoden aus Naturwissenschaft, Kunst und Design ist hier ein tragendes Element. Während im Dekorativen eine grosse Gestaltungsfreiheit gegeben werden kann, sollte die konzeptionelle Gestaltung den biologisch, physikalisch oder chemisch passenden Mechanismen entsprechen, um der Entstehung nicht-anschlussfähiger Vorstellungen vorzubeugen.

In einem letzten Schritt, der *Reflexion*, werden die erschaffenen Produkte und der Gestaltungsprozess präsentiert. Erfolgserlebnisse werden geteilt und Herausforderungen besprochen. Ebenfalls wird abschliessend sichergestellt, dass die gewonnenen Erkenntnisse dem naturwissenschaftsdidaktisch intendierten Wissensstand entsprechen, beispielsweise durch Vergleiche der Modelle mit der Realität.

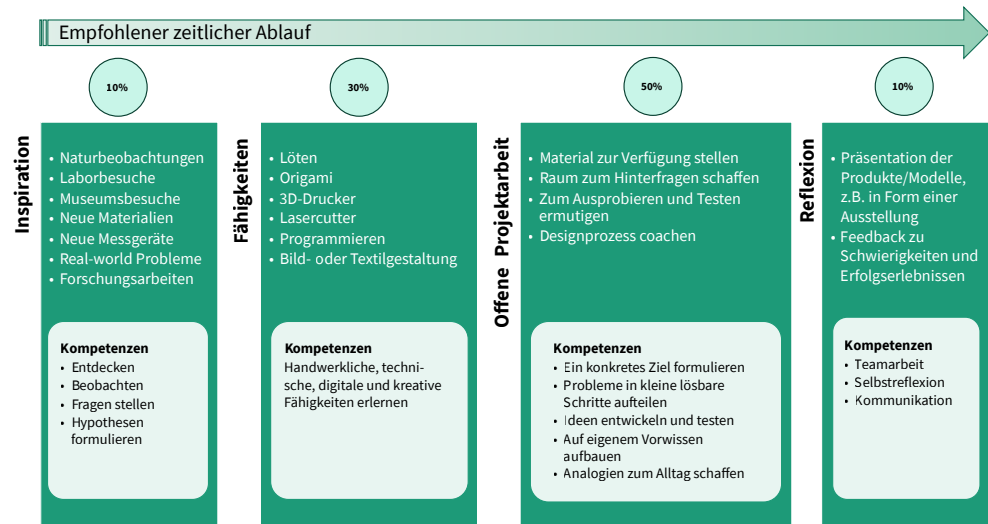


Abb. 3: Leitfaden für das Anleiten von BioTinkering-Aktivitäten (eigene Darstellung).

Dieser Leitfaden lässt folgende Herausforderungen erkennen: Zum einen scheint insbesondere der Teilschritt «Fähigkeiten» von den Lehrpersonen umfassende Kenntnisse bezüglich des Umgangs mit technischen Geräten zu verlangen. Zum anderen suggeriert der Ablauf, dass es sich um einen zeitaufwendigen Prozess handelt.

Bezüglich der Komplexität seitens der Lehrpersonen lässt sich anmerken, dass die meisten Geräte (z. B. 3D-Drucker und Lasercutter) inzwischen äußerst benutzerfreundlich sind und in der Handhabung vereinfacht wurden. Dennoch benötigen diese eine Einarbeitung der Lehrperson, sodass damit gearbeitet werden kann. Ebenfalls benötigt das Beheben auftretender technischer Probleme durch die Lehrperson oder die Schüler:innen Zeit und Geduld. Die hierfür notwendige Schulung muss ermöglicht und die benötigte Zeit eingeräumt werden. Aus der Behebung solcher Probleme können aber wiederum Lern- und Erfolgserlebnisse entstehen, sowohl für Lernende als auch für Lehrpersonen. Insbesondere auf höheren Schulstufen gibt es bereits vereinzelt Jugendliche, welche im privaten Umfeld Expertise mit solchen Geräten aufgebaut haben und unterstützen können. Dies kann daher auch darin resultieren, dass sie der Lehrperson sogar etwas Neues beibringen können. Trotz dieser Anmerkungen bleibt die Komplexität bei Making-Aktivitäten hoch und soll nicht verschleiert werden. Jedoch ist wichtig anzumerken, dass es gerade im technischen Bereich nicht zwingend notwendig ist, dass die Lehrperson in jedem Fall die Wissenshoheit besitzt. Vielmehr kann auch ein Ziel sein, das Mindset zu schulen, dass Lehrpersonen gemeinsam mit den Schüler:innen Lösungen für solche

Probleme im technisch-digitalen Bereich erarbeiten. Die Sicherstellung des Erlernens fachlich korrekten Biologiewissens bleibt aber weiterhin in der Verantwortung der Lehrperson.

Bezüglich des Zeitaufwands stellt sich die Frage, wie in einem bereits stark strazierten Naturwissenschaftscurriculum Zeit für Making-Aktivitäten gefunden werden soll (Bullock und Sator 2015). Obwohl Making-Aktivitäten in ihrer angedachten Form diesen zeitlichen Freiraum gewähren möchten, bietet es sich bei BioTinkering-Aktivitäten an, auch kürzere Einheiten zu ermöglichen, indem beispielsweise durch die genauere Vorgabe des Problems die Offenheit bewusst eingeschränkt wird. Hierbei entfernt sich die BioTinkering-Aktivität jedoch schrittweise von der klassischen offenen Making-Aktivität. Durch die Bereitstellung erprobter Aktivitäten wird zudem der Vorbereitungsaufwand aufseiten der Lehrperson reduziert. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass durch die Offenheit der Aufgaben eine Vielzahl unterschiedlicher Kompetenzen geschult wird, welche unter These 3 genauer erläutert sind.

These 3: BioTinkering-Aktivitäten ermöglichen die Förderung von überfachlichen Kompetenzen

Die Maker-Education basiert auf einem Mindset. Es vermittelt Kindern und Jugendlichen nicht nur Wissen und Fähigkeiten in Bereichen wie Elektronik, digitale Fertigung und Handwerk, sondern ist auch ein wichtiger Baustein zur Unterstützung überfachlicher Kompetenzen (u. a. Becker und Jacobsen 2020; Burdiles Araneda et al. 2022). Maurer, Mauroux und Möschler (2022) verweisen insbesondere auf persönliche Kompetenzen wie Eigenständigkeit und Improvisation, methodische Kompetenzen wie kreative Denk- und Problemlösefähigkeiten sowie Produktentwicklungskompetenzen. Fachkompetenzen schliessen auch die Anwendung digitaler Werkzeuge, informatischer Kompetenzen und Medienkompetenzen ein.

Im Schweizerischen Lehrplan 21 werden Bereitschaften, Haltungen und Einstellungen als zusätzliche Facetten überfachlichen Kompetenzerwerbs erwähnt (D-EDK 2016, 24). Durch handlungsorientierte BioTinkering-Aktivitäten mit spannenden Problemstellungen lassen sich Relevanz und Motivation dafür schaffen. Insbesondere im Bereich der Pflanzenbiologie ist es dringend notwendig, die Motivation für diese Thematik zu erhöhen. Die wenigsten Jugendlichen können mehr als zehn Pflanzen namentlich nennen, da sie diese nicht wahrnehmen (Burke et al. 2022). Dieses Phänomen wird als «Plant Blindness» bezeichnet (Wandersee und Schussler 1999). Es steht exemplarisch für Untersuchungen, die zeigen, dass das Interesse an wissenschaftlicher Pflanzenkunde in den letzten Jahren abgenommen hat (Gubser et al. 2021). Die Gründe dafür sind vermutlich in der mangelnden wissenschaftlichen und beruflichen Anerkennung sowie der zunehmenden Urbanisierung und

Digitalisierung zu verorten (Jose, Wu, und Kamoun 2019). Der Verlust der Mensch-Natur-Interaktionen führt als Folge dazu, dass die Natur an Wertschätzung verliert und das Bedürfnis für ihre Erhaltung sinkt.

BioTinkering-Aktivitäten, welche die Themenwelt der Pflanzen und deren Bedeutung für die Gesellschaft vermitteln, können eine valable Strategie sein, die notwendigen Voraussetzungen für einen umfassenden Kompetenzerwerb zu schaffen. Davon profitieren letzten Endes auch weitere Kompetenzen im Bereich der Bildung für Nachhaltige Entwicklung (D-EDK 2016, 30). So wird beispielsweise das kooperative und kritisch-kreative Problemlösen zu einer zentralen Kompetenz für die aktuell junge Generation (Pfiffner, Sterel, und Hassler 2021), um den gesellschaftlichen Herausforderungen wie Klimawandel und Ressourcenknappheit zu begegnen. Dazu gehört auch die Veränderung der notwendigen Kompetenzen in der Arbeits- und Forschungswelt. «Im Zuge der digitalen Entwicklung werden Selbst-, Sozial- und Handlungskompetenzen wie auch kreatives und kritisches Denken immer wichtiger» (economiesuisse und Think Tank W.I.R.E. 2017, 79). Technologische Fortschritte in den Bereichen Informatik und Datenwissenschaften erfordern digitale Kompetenzen (SATW 2021; SBFI 2020).

Um fächerübergreifende und digitale Kompetenzen zu stärken und dadurch die Jugendlichen auf die Anforderungen im Berufsleben vorzubereiten, scheinen in der Bildung neue Unterrichtsformate und Formen der Zusammenarbeit notwendig zu sein (educa 2021). Dabei kann Making, und damit BioTinkering, nicht nur Schüler:innen unterstützen, Probleme selbstständiger zu lösen, sondern auch Lehrpersonen ermutigen, digitale Unterrichtsformen auszuprobieren (Becker und Jacobsen 2020). Der Making-Ansatz kann ein Anstoss sein, das gemeinsame Unterrichtsverständnis weiterzuentwickeln, und stellt dadurch ein Schulentwicklungsthema dar, welches über die Unterrichtsebene hinaus organisationale und personale Aspekte betrifft (An und Pozzi 2018).

Auf die Herausforderungen bezüglich der Messbarkeit dieser Kompetenzentwicklungen wird in Kapitel 5 auf die Evaluation der bestehenden Angebote eingegangen.

4. Beispiele von Angeboten

Die Erkenntnisse aus den beschriebenen Thesen haben in der Konzeption der entwickelten BioTinkering-Angebote Anwendung gefunden. Im Folgenden geben wir einen nicht abschliessenden Überblick über bereits bestehende Angebote im Bereich des BioTinkering in der Schweiz.

4.1 *BioTinkering am Zürich-Basel Plant Science Center*

Das Zürich-Basel Plant Science Center¹ ist ein Kompetenzzentrum für Pflanzen- und Umweltwissenschaften an der ETH Zürich, Universität Zürich und Universität Basel. Das Zentrum vereint über 50 Forschungsgruppen, unter anderem aus den Bereichen Genetik, Zellbiologie, Ökologie und Erdsystemwissenschaften. Die Wissenschaftler:innen erforschen die Funktionsweise von Pflanzen und Ökosystemen. Um die Relevanz der Pflanzen- und Umweltforschung sichtbar und verständlich zu machen und das Interesse für Pflanzen zu wecken, entwickelt ein interdisziplinäres Team aus Fachpersonen in den Bereichen Biologie, Wissenschaftskommunikation, Kunstvermittlung und Didaktik schulische und außerschulische Bildungsprojekte für Kinder und Jugendliche (8–16 Jahre).

Das CreativeLabZ² – ein Entwicklungs- und Forschungslabor für BioTinkering – wurde 2017 vom Zürich-Basel Plant Science Center gegründet. Die offene Werkstatt (Makerspace) des CreativeLabZ befindet sich in Zürich und ist mit Werkzeugen (LötKolben, Sägen, Bohrmaschinen), Materialien (Pflanzen, Erde, elektronische Bauteile, Holz, Stoffe) und Geräten (3D-Drucker, Lasercutter, Nähmaschinen) ausgestattet. Im Angebot sind Workshops und Projektwochen für Schulklassen, Weiterbildungen für Lehrpersonen und Ferienkurse zu Themen wie: Happy City, Gestalte dein Leben, Rock your Future, Klimawerkstatt, Share & Repair, Materialwunder, Cyberkids. Die Resultate der Werkstattarbeiten sowie Eigen- und Gruppenprojekte werden in Form von Ausstellungen präsentiert (Schläpfer-Miller und Dahinden 2020a). Von 2016 bis 2023 haben 1.000 Kinder und Jugendliche im Alter von 8 bis 16 Jahren an CreativeLabZ-Angeboten teilgenommen. Während der Corona-Pandemie fanden Online-Kurse für 400 Kinder statt.

4.2 *Konzeption von BioTinkering-Aktivitäten für den NMG / NT Unterricht*

Beim Gestalten von BioTinkering-Aktivitäten empfiehlt die Autorenschaft, verschiedene Arbeitsweisen, Werkzeuge, Geräte, Materialien und Themen aus Naturwissenschaften, Kunst, Design zu kombinieren (siehe auch Marshall und Harron 2018). Der Bezug zu einem aktuellen Forschungs- bzw. Umweltthema macht neugierig und kann dazu beitragen, das Bedürfnis zu wecken, etwas Neues zu verstehen oder etwas Neues zu können (Schläpfer-Miller und Dahinden 2020a, 2020b). Der künstlerische Fokus beim Gestalten weckt Emotionen und Einfühlungsvermögen für das Thema, intensiviert Engagement und gibt Raum für persönliche Ausdrucksmöglichkeiten (Schläpfer-Miller und Dahinden 2020b; Renowden, Beer, und Mata 2022). Design-Methoden, wie beispielsweise Abstraktion – Analogie – Adaption fördern Kreativität und Improvisation. Abstraktion ermöglicht das Loslösen vom konkreten

1 <https://www.plantsciences.uzh.ch/en.html>.

2 <https://www.creativelabz.ethz.ch>.

Problem. Analogie ermöglicht die Übertragung fremder Lösungen auf das eigene Problem und kann Alltagskonzepte und Alltagsfertigkeiten abrufen. Adaption führt zur Anwendung der gefundenen Lösung im eigenen Kontext (Rodier et al. 2021; Junior und Guanabara 2005).

Um BioTinkering-Aktivitäten effektiv in formale Bildungsumgebungen zu integrieren, ist eine durchdachte Einbeziehung der Lehrpläne erforderlich. Cohen et al. (2017) haben diesen Prozess auch als Makification bezeichnet. Lehrplanthemen werden mit charakteristischen Elementen aus der Maker-Education (Konstruktion und Iteration) verknüpft.

Im Rahmen eines vom Schweizerischen Nationalfonds geförderten Agora-Projekts «Biotinkering for Youth»³ und dem Innovationsprojekt «Making im Unterricht»⁴ der Digitalen Initiative der Zürcher Hochschulen (DIZH) wurden BioTinkering-Angebote für Primar-, Sekundar- und Gymnasialstufe (Zyklus 2 und 3) entwickelt. Alle entwickelten Lehrmaterialien und Unterrichtskonzepte für Making werden als Open Educational Resources (OER) zur Verfügung gestellt, um einen vielfältigen Einsatz auch ausserhalb von Bildungsinstitutionen zu erreichen.⁵

Infokasten 1 zeigt ein Beispiel einer solchen BioTinkering-Aktivität zum Thema Pflanzenbewegungen. Erste Erprobungen fanden in der Primar- (Klassenstufe 5 und 6, 155 TN), Sekundar- (Klassenstufe 1B und 2B, 20 TN) und Gymnasialstufe (16 TN) statt. Parallel dazu fanden zwei Weiterbildungsworkshops mit Lehrpersonen der Primar-, Sekundar- und Gymnasialstufe statt (Fächer: TTG, NMG, NT, 30 TN).

3 Projektbeschreibung: <https://data.snf.ch/grants/grant/200184>.

4 Projektbeschreibung: <https://dizh.ch/2022/01/03/making-im-unterricht>.

5 OER-Material: <https://explore-making.ch>, <https://www.creativelabz.ethz.ch>.

Projektarbeiten von Primar- und Sekundarschüler:innen



Inspiration: Die Schüler:innen gehen hinaus in die Natur und beobachten verschiedene Pflanzenbewegungen.

Wissensvermittlung: Obwohl Pflanzen an ihren Wuchsort gebunden sind, bewegen sie sich doch recht stark. Blüten öffnen und schliessen sich im Tagesrhythmus, die Blätter richten sich am Stand der Sonne aus, Samen werden explosionsartig weggeschleudert. Nicht alle Pflanzenbewegungen sind mit dem Auge sichtbar, weil sie sehr langsam stattfinden. Mithilfe einer Kamera können Time Lapse-Beobachtungen über längere Zeiträume durchgeführt werden. Die Art der Bewegung hängt von der Pflanzenart und von der Tageszeit ab. Die Bewegungen werden von physikalischen oder chemischen Reizen ausgelöst, wobei Dauer und Intensität entscheidend sind. Beispiel Lichtsensoren: Mithilfe von Sensoren, die das Licht registrieren, messen Pflanzen die Tageslänge. In jeder Blattspitze und in jedem Ende eines Triebes befinden sich Lichtsensoren. Diese Lichtsensoren registrieren mit hoher Präzision die Dauer des Lichteinfalls sowie die Richtung, aus der die Strahlung kommt. Auch die Intensität des jeweiligen Lichts nehmen sie wahr. Lichtsensoren, die für blaues Licht empfindsam sind, bestimmen, in welchem Winkel sich Blätter ausrichten und in welcher Richtung ein Trieb zum Licht wächst. Lichtsensoren (sog. Phytochrome), die auf rotes Licht reagieren, signalisieren einer Pflanze, dass sie im Schatten wächst, also von einem Konkurrenten bedrängt wird. Dann wird das Sonnenlicht – und damit das Rotlicht – durch die benachbarten Blätter abgeschwächt. Sie filtern die hellroten Anteile heraus, übrig bleibt Dunkelrot. Diese Veränderung löst einen Alarm in der Pflanze aus. In der Pflanze werden alle Ressourcen mobilisiert, um schneller zu wachsen (Galvão und Fankhauser 2015). Neben der Tageslänge registrieren Pflanzen auch Temperaturschwankungen. Um z. B. den richtigen Zeitpunkt zum Blühen zu finden, sind Pflanzen in der Lage, die Tageslänge mithilfe von Lichtsensoren in ihren Blätter zu messen. In der Dunkelheit werden diese Lichtsensoren zu Wärmefühlern (J.-H. Jung et al. 2016).

Fähigkeiten: Die Schüler:innen lernen, einen Mikrocontroller bzw. Raspberry Pi Single Board Computer und einen Servomotor zu programmieren.

Offene Projektarbeit: Die Schüler:innen entwerfen und gestalten Modelle von sich bewegenden Pflanzen oder definieren selbst eine Challenge. Die Pflanzen können aus (Alt-)Papier, gebrauchten Plastikflaschen oder anderen Recycling-Materialien nachgebaut werden. Um Parameter der Bewegung umzusetzen, ist es notwendig, mechanische Lösungen für Drehung oder Beugung zu entwickeln und Sensoren zu programmieren. Den Schüler:innen sollte daher ein Materialset mit Sensoren und Servomotoren zur Verfügung gestellt werden.

Umsetzungsbeispiel für die Primar- und Sekundarstufe (10–14 Jahre, Tagesworkshop, mind. 6 Stunden): Ein Lichtsensor (an einem Mikrocontroller) misst die Lichtstärke, sodass die Pflanze oder Blüte mithilfe eines Servomotors erst dann eine Bewegung ausführt, wenn die Lichtstärke einen Grenzwert über- oder unterschreitet.

Umsetzungsbeispiel für die Gymnasialstufe (16–18 Jahre, Projektwoche): Mithilfe einer Kamera, einem Raspberry Pi und Google Teachable Machine wird ein Time Lapse-Experiment mit selbstgepflanzten Gazania Pflanzen (auch Mittagsgold genannt) geplant und anhand der Blütenöffnung die Tageszeit bestimmt.

Reflexion: Die Schüler:innen präsentieren ihre Modelle, erklären den biologischen Mechanismus und reflektieren, was gut funktioniert hat, wo es Probleme gab und wie sie diese gelöst haben. Sie können den Designprozess mit Fotos und Notizen dokumentieren.

Projektdokumentationen können beim CreativeLabZ angefragt werden.

5. Evaluationsergebnisse der Projektwochen in Schulen

Im Rahmen der Angebote wurden die Schüler:innen im Anschluss an die Erprobung von BioTinkering-Aktivität mit Fragebögen befragt (s. Anhang B für Details zu den Evaluationsrastern). Das Ziel war einschätzen zu können, ob BioTinkering-Aktivitäten die Begeisterung und Motivation für die Pflanzenthematik und einfache Programmierkonzepte steigern. In den Evaluationsresultaten zeigt sich, dass die Schüler:innen davon fasziniert sind, dass sich Pflanzen selbstständig bewegen und bestimmte Reize wahrnehmen können. Durch die BioTinkering-Aktivitäten wurde zusätzliches Pflanzenwissen aufgebaut (bspw. darüber «wie Pflanzen wachsen und warum Blüten sich öffnen und bewegen»). 74 % der befragten Schüler:innen (n = 50) gaben zudem an, dass sie durch die Aktivitäten die Programmierung von Mikrocontrollern erlernt oder vertieft haben. 70 % gaben an, die Techniken des Problemlösens (Ziel setzen, Produkt mehrmals überarbeiten) erlernt zu haben. Positiv hervorgehoben wurde die Möglichkeit, «viel Verschiedenes ausprobieren zu dürfen» und «kreativ zu sein». Zwei der befragten Lehrpersonen (n = 5) gaben an, dass das Scheitern der Versuchsidee aufgrund von Komplexität oder Zeit als frustrierend wahrgenommen wurde.

Zusätzlich wurden die Lehrpersonen dazu befragt, wie sie die Umsetzbarkeit dieser BioTinkering-Aktivitäten im Naturwissenschaftsunterricht einschätzen, wo sie einen Mehrwert in diesen Aktivitäten sowie mögliche Herausforderungen für den Einsatz sehen. Zudem war von Interesse, ob Möglichkeiten für fächerübergreifende Projektarbeit erkannt wurden. Die qualitative Auswertung dieses Stimmungsbildes zeigt, dass alle fünf Lehrpersonen vom Engagement und der Motivation der

Lernenden positiv überrascht waren und diese als sehr aktiv empfanden. Die BioTinkering-Aktivitäten vermochten durch das Einbringen eigener Ideen auch Lernende zu motivieren, welche sonst in diesem Themenbereich von der Lehrperson als demotiviert wahrgenommen wurden. Entsprechend waren die Lehrpersonen auch mit den Endprodukten zufrieden. In Bezug auf die Lerninhalte konstatierten die Lehrpersonen, dass vielfältige Bezüge, sowohl fachintern als auch fächerübergreifend erkannt wurden, beispielsweise durch die praktische Thematisierung physikalischer Prinzipien wie der Hebelwirkung oder eines elektrischen Kurzschlusses am Objekt. Insbesondere wurde geschätzt, dass durch die Aktivität einzelne Themenbereiche, beispielsweise Stoffwechsel und Ökologie, miteinander vernetzt werden konnten. Die Lehrpersonen signalisierten die grundsätzliche Bereitschaft, weitere solche Inhalte im Naturwissenschaftsunterricht einzusetzen. Allerdings wurden diverse Vorbehalte angesprochen. Dazu gehört beispielsweise der attestierte Zeitaufwand, welcher als umfangreich wahrgenommen wird, zum Beispiel durch die Notwendigkeit zur Schulung handwerklicher Fertigkeiten wie dem Aufbau eines Stromkreises oder der Bedienung eines 3D-Druckers oder Lasercutters. Ebenso wurde der Aufwand bezüglich der Materialbeschaffung und Bereitstellung moniert. Als weiterer Kritikpunkt wurde der hohe Anspruch an die Fähigkeiten der Lehrperson thematisiert. Einige Lehrpersonen sehen den Bedarf, gewisse Inhalte wie die zu verwendenden Methoden vorzugeben, da auch nach dieser Einschränkung genügend Offenheit und Gestaltungsspielraum bleibe. Die Aktivität wird zudem dahingehend als herausfordernd empfunden, dass das übliche Betreuungsverhältnis die adäquate Unterstützung der Lernenden erschwert. Nicht zuletzt merkten einige Lehrpersonen an, dass sie sich von der Breite der vermeintlich notwendigen Kompetenzen als überfordert betrachten und entsprechende Weiterbildungsmöglichkeiten wünschenswert wären.

6. Erkenntnisse und Implikationen

Die dargestellte Befragung der Lehrpersonen spiegelt die Argumente aus dem theoretischen Teil wider. Sie zeigt aber auch auf, dass Interesse und Faszination an BioTinkering im naturwissenschaftlichen Schulunterricht besteht, sowohl seitens der Lehrpersonen als auch der Schüler:innen.

Da BioTinkering-Aktivitäten noch weitgehend unbekannt und im aktuellen Lehrplan 21 in der Schweiz nicht direkt vorgesehen sind, wurden die entwickelten Konzepte bisher primär auf den ausserschulischen Lernbereich sowie für Projektwochen ausgerichtet. Wir möchten aber an dieser Stelle ermutigen, solche BioTinkering-Aktivitäten auch in den regulären Schulunterricht auf den unterschiedlichsten Stufen zu integrieren, um bei den Schüler:innen die Faszination für Pflanzen- und Naturthemen zu wecken. Wie oben ausgeführt ist davon auszugehen, dass dies die

damit einhergehende Wahrnehmung der Verantwortung für die ökologische Umwelt stärkt und so der Bildung für Nachhaltige Entwicklung zuträglich ist. Dem Wunsch der befragten Lehrpersonen nachkommend, stellt die Ausarbeitung von kürzeren und materialtechnisch weniger aufwendigen BioTinkering-Aktivitäten eine wichtige Weiterentwicklung dar, an welcher wir aktuell arbeiten.

Literatur

- An, Heejung, und Ellen Pozzi. 2018. «Developing a Makerspace as a Vehicle for Partnership Building: The Role of Teacher Education Programs in Guiding Teachers, Librarians, and Communities». *steam* 3 (2): 1–15. <https://doi.org/10.5642/steam.20180302>. 12.
- Anderson, Chris. 2012. *Makers: The New Industrial Revolution*. New York, NY: Crown Business.
- Becker, Sandra, und Michele Jacobsen. 2020. «Becoming a Maker Teacher: Designing Making Curricula That Promotes Pedagogical Change». *Front. Educ.* 5. <https://doi.org/10.3389/educ.2020.00083>.
- Bevan, Bronwyn. 2017. «The promise and the promises of Making in science education». *Studies in Science Education* 53 (1): 75–103.
- Blikstein, Paulo. 2018. «Maker Movement in Education: History and Prospects». In *Handbook of Technology Education*, herausgegeben von Marc J. de Vries, 419–37. Springer International Handbooks of Education. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44687-5_33.
- Boy, Henrike, und Gerda Sieben. 2017. *Kunst & Kabel: Konstruieren, Programmieren, Selbermachen!* München: kopaed.
- Bullock, Shawn M., und Andrea J. Sator. 2015. «Maker pedagogy and science teacher education». *Journal of the Canadian Association for Curriculum Studies* 13 (1): 60–87. <https://jcacs3.journals.yorku.ca/index.php/jcacs/article/view/40246>.
- Burdiles Araneda, Inés Macarena, Xavier Dominguez, Marion Real, Santiago Fuentemilla, und Anastasia Pistofidou. 2022. «Remix The School Project: Socio-Emotional Learning through Biomaterial making». In *6th FabLearn Europe / MakeEd Conference 2022*, 1–5. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3535227.3535242>.
- Burke, Rory, Orla L. Sherwood, Stephanie Clune, Rebecca Carroll, Paul F. McCabe, Adam Kane, und Joanna Kacprzyk. 2022. «Botanical boom: A new opportunity to promote the public appreciation of botany». *Plants, people, planet* 4 (4): 326–34. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10257>.
- Cohen, Jonathan, W. Monty Jones, Shaunna Smith, und Brendan Calandra. 2017. «Makification: Towards a Framework for Leveraging the Maker Movement in Formal Education». *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 26 (3): 217–29. <https://www.learn-tech-lib.org/primary/p/174191/>.
- D-EDK. 2016. *Lehrplan 21: Gesamtausgabe*. Vorlage. <https://v-fe.lehrplan.ch>.

- Delfanti, Alessandro. 2012. «Tweaking Genes in your Garage: Biohacking between Activism and Entrepreneurship». In *Activist Media and Biopolitics: Critical Media Interventions in the Age of Biopower*, herausgegeben von Wolfgang Sützl, und Theo Hug, 163–77. Innsbruck: innsbruck university press.
- Dougherty, Dale. 2012. «The Maker Movement». *Innovations: Technology, Governance, Globalization* 7 (3): 11–14. https://doi.org/10.1162/INOV_a_00135.
- Ebner, Martin, Sandra Schön, und Kristin Narr. 2016. *Making-Aktivitäten mit Kindern und Jugendlichen: Handbuch zum kreativen digitalen Gestalten*. Norderstedt: Books on Demand.
- economiesuisse, und Think Tank W.I.R.E. 2017. «Zukunft digitale Schweiz: Wirtschaft und Gesellschaft weiterdenken». https://www.thewire.ch/data/files/zukunft_digitale_schweiz_w.i.r.e._economiesuisse_2017.pdf.
- EDK. 2011. «Grundkompetenzen für die Naturwissenschaften: Nationale Bildungsstandards | Frei gegeben von der EDK-Plenarversammlung am 16. Juni 2011». Zugriff am 11. Januar 2023. <https://www.edk.ch/de/themen/harmos/nationale-bildungsziele>.
- educa. 2021. «Digitalisierung in der Bildung: Bericht im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) und der Schweizerischen Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren (EDK) im Rahmen des Bildungsmonitorings». *Bildungsmonitoring Schweiz*. https://www.educa.ch/sites/default/files/2021-10/Digitalisierung_in_der_Bildung.pdf.
- Exploratorium. 2013. «Learning Dimensions Framework». https://www.exploratorium.edu/sites/default/files/files/learning_dimensions_framework_one_pager.pdf.
- Galvão, Vinicius Costa, und Christian Fankhauser. 2015. «Sensing the Light Environment in Plants: Photoreceptors and Early Signaling Steps». *Current opinion in neurobiology* 34: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2015.01.013>.
- Gebhard, Ulrich, Dietmar Höttecke, und Markus Rehm. 2017. *Pädagogik der Naturwissenschaften: Ein Studienbuch*. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19546-9>.
- Gershenfeld, Neil A. 2005. *Fab: the coming revolution on your desktop – from personal computers to personal fabrication*: Basic Books (AZ).
- Gilbert, John K. 2008. «Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education». In *Visualization: Theory and Practice in Science Education*, herausgegeben von John K. Gilbert, Miriam Reiner, und Mary Nakhleh, 3–24. *Models and modeling in science education v. 3*. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_1.
- Godec, Spela, Uma Patel, Louise Archer, und Emily Dawson. 2020. «Young People’s Tech Identity Performances: Why Materiality Matters». *International journal of STEM education* 7 (1): 51. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00249-w>.
- Gubser, Christine, Daniel Béguin, Stefan Eggenberg, Yves Gonseth, Rolf Krebs, Reto Nyffeler, Monika Schwalm, und Yves Leuzinger. 2021. «Bildung Artenkenntnisse: – eine nationale Strategie». https://www.infospecies.ch/de/assets/content/documents/Strategie_Bildung_Artenkenntnisse.pdf.

- Halverson, Erica Rosenfeld, und Kimberly Sheridan. 2014. «The Maker Movement in Education». *Harvard Educational Review* 84 (4): 495–504. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.34j1g68140382063>.
- Höttecke, Dietmar, und Falk Riess. 2015. «Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik». *ZfDN* 21 (1): 127–39. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0030-z>.
- Hsu, Yu-Chang, Sally Baldwin, und Yu-Hui Ching. 2017. «Learning through Making and Maker Education». *TechTrends* 61 (6): 589–94. <https://doi.org/10.1007/s11528-017-0172-6>.
- Ingold, Selina, Björn Maurer, und Daniel Trüby, Hrsg. 2019. *Chance Makerspace: Making trifft auf Schule*. München: kopaed.
- Jose, Sarah B., Chih-Hang Wu, und Sophien Kamoun. 2019. «Overcoming Plant Blindness in Science, Education, and Society». *Plants, people, planet* 1 (3): 169–72. <https://doi.org/10.1002/ppp3.51>.
- Jung, Jae-Hoon, Mirela Domijan, Cornelia Klose, Surojit Biswas, Daphne Ezer, Mingjun Gao, Asif Khan Khattak et al. 2016. «Phytochromes Function as Thermosensors in Arabidopsis». *Science (New York, N.Y.)* 354 (6314): 886–89. <https://doi.org/10.1126/science.aaf6005>.
- Junior, Wilson Kindlein, und Andréa Seadi Guanabara. 2005. «Methodology for product design based on the study of bionics». *Materials & Design* 26 (2): 149–55. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.05.009>.
- Kim, Ji-Yun, Hyunsong Chung, Eun Young Jung, Jin-Ok Kim, und Tae-Wuk Lee. 2020. «Development and Application of a Novel Engineering-Based Maker Education Course for Pre-Service Teachers». *Education Sciences* 10 (5): 126. <https://doi.org/10.3390/educsci10050126>.
- Kleeberger, Julia, und Franziska Schmid. 2019. «Making ist das neue Lernen: Erfindergeist wecken mit digitalen Werkzeugen». In *Chance Makerspace: Making trifft auf Schule*, herausgegeben von Selina Ingold, Björn Maurer, und Daniel Trüby, 103–18. München: kopaed.
- Kremer, Kerstin, Andrea Möller, Julia Arnold, und Jürgen Mayer. 2019. «Kompetenzförderung beim Experimentieren». In *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis*, herausgegeben von Jorge Gross, Marcus Hammann, Philipp Schmiemann, und Jörg Zabel, 113–28. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_7.
- Lucas, Bill, und Ellen Spencer. 2017. *Teaching Creative Thinking: Developing Learners Who Generate Ideas and Can Think Critically*. Pedagogy for a changing world. La Vergne: Crown House Publishing.
- Maker Media. 2013. «Makerspace Playbook: School Edition». <https://makered.org/wp-content/uploads/2014/09/Makerspace-Playbook-Feb-2013.pdf>.
- Marshall, Jill A., und Jason R. Harron. 2018. «Making Learners: A Framework for Evaluating Making in STEM Education». *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning* 12 (2). <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1749>.

- Maurer, Björn, Stefanie Mauroux, und Lorenz Möschler. 2022. «Making im Schulalltag. Leistungsbegutachtung. Making-Kompetenzen – Begutachtungsgegenstände – Kriterien und Instrumente für die Praxis». <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15511.50080>.
- Mayer, Jürgen. 2007. «Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen». In *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, herausgegeben von Dirk Krüger, und Helmut Vogt, 177–86. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16.
- Merz, Thomas. 2019. «Grosses Potential für Schulen der Zukunft: MakerSpaces ermöglichen und erfordern neue Lernformen und Schulentwicklungen». In *Chance Makerspace: Making trifft auf Schule*, herausgegeben von Selina Ingold, Björn Maurer, und Daniel Trüby, 33–44. München: kopaed.
- Mingjie, Tan, Yang Yongqi, und Yu Ping. 2016. «The influence of the maker movement on engineering and technology education». *World Transactions on Engineering and Technology Education* 14 (1): 89–94. [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.14,%20No.1%20\(2016\)/14-Tan-M.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.14,%20No.1%20(2016)/14-Tan-M.pdf).
- Opperman, Amanda. 2016. «Maker Education: The STEAM Playground». *The STEAM Journal* 2 (2): 1–5. <https://doi.org/10.5642/steam.20160202.04>.
- Otto, Siegmund, und Pamela Pensini. 2017. «Nature-based environmental education of children: Environmental knowledge and connectedness to nature, together, are related to ecological behaviour». *Global Environmental Change* 47: 88–94.
- Papert, Seymour. 1986. «Constructionism: A new opportunity for elementary science education: A Proposal to The National Science Foundation». <https://dailypapert.com/wp-content/uploads/2021/02/Constructionism-NSF-Proposal.pdf>.
- Petrich, Mike, Karen Wilkinson, und Bronwyn Bevan. 2013. «It Looks Like Fun, but Are They Learning?». In *Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators*, herausgegeben von Margaret Honey, und David E. Kanter, 50–70. New York, NY, London: Routledge Taylor & Francis Group.
- Pfiffner, Manfred, Saskia Sterel, und Dominic Hassler. 2021. *4K und digitale Kompetenzen: Chancen und Herausforderungen*. 6 Bände. 4K Kompakt 1: hep. https://hep-verlag.fra1.digitaloceanspaces.com/production/products/3824/4kundigitalekompetenzen_1a_21.pdf.
- Priemer, Burkhard. 2011. «Was ist das Offene beim offenen Experimentieren?». *ZfDN* 17: 315–37.
- Renowden, Christina, Tanja Beer, und Luis Mata. 2022. «Exploring integrated ArtScience experiences to foster nature connectedness through head, heart and hand». *People and Nature* 4 (2): 519–33. <https://doi.org/10.1002/pan3.10301>.
- Resnick, Mitchel, und Natalie Rusk. 2020. «Coding at a crossroads». *Commun. ACM* 63 (11): 120–27. <https://doi.org/10.1145/3375546>.
- Resnick, Mitchel, und Brian Silverman. 2005. «Some Reflections on Designing Construction Kits for Kids». *Proceedings of Interaction Design and Children Conference*.

- Rieckmann, Marco. 2021. «Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ziele, didaktische Prinzipien und Methoden». *merz – Zeitschrift für Medienpädagogik* 65 (4): 12–19. <https://doi.org/10.21240/merz/2021.4.7>.
- Rodier, Chantal, Mohamed Galaleldin, Justine Boudreau, Hanan Anis, und Liam Peyton. 2021. «STEAM – Arts Integration Frameworks for Transdisciplinarity». *PCEEA*. <https://doi.org/10.24908/pceea.vi0.14918>.
- SATW. 2021. *Technology Outlook 2021: Deutsche Version*. https://www.satw.ch/fileadmin/Documents/SATW/Focus_topics/Foresight/SATW_Technology_Outlook_2021_DE.pdf.
- SBFI. 2020. *Forschung und Innovation in der Schweiz 2020*. <https://www.sbf.admin.ch/f-ibericht>.
- Schläpfer-Miller, Juanita, und Manuela Dahinden. 2020a. *Ausstellung des CreativeLabZ (2020)*: ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000428640>.
- Schläpfer-Miller, Juanita, und Manuela Dahinden. 2020b. *Creative Camps – Verknüpfung von Kunst- und Wissenschaftsvermittlung*. Unter Mitarbeit von Gianna Brühwiler, Giulia Donati, Christian Ginzler, Oskar Hagen, Sabrina Flütsch, Joyce Kalumba, Mina Karrer, Renate Lerch und Alexandra Rosakis: ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000421727>.
- Schön, Sandra, Isabel Allaert, Luisa Friebe, Guntram Geser, Eva-Maria Hollauf, Veronika Hornung-Prähauser, und Frank Vloet. 2019. *Making Social Innovators: Workshop Design for and with Young Social Innovators from 6 to 16 years (DOIT handbook)*. Salzburg, AT: Salzburg Research. <http://DOIT-Europe.net>.
- Schön, Sandra, Martin Ebner, und Kristin Narr. 2020. «Digitales kreatives Gestalten. Hintergrund und methodische Ansätze». https://www.researchgate.net/publication/343153528_Digitales_kreatives_Gestalten_Hintergrund_und_methodische_Ansatze.
- Sipos, Yona, Bryce Battisti, und Kurt Grimm. 2008. «Achieving transformative sustainability learning: engaging head, hands and heart». *International Journal of Sustainability in Higher Education* 9 (1): 68–86. <https://doi.org/10.1108/14676370810842193>.
- Stiller, Cornelia, Tobias Allmers, Annette Habigsberg, Andreas Stockey, und Matthias Wilde. 2020. «Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie». *PraxisForschungLehrer*innenBildung. Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung* 2 (2): 28–39. <https://doi.org/10.4119/PFLB-3302>.
- Taylor, Bart. 2016. «Evaluating the Benefit of the Maker Movement in K-12 STEM Education». *Electronic International Journal of Education, Arts, and Science (EIJEAS)* 2 (Special Issue): 1–22. <http://www.eijeas.com/index.php/EIJEAS/article/view/72>.
- Wandersee, James H., und Elisabeth E. Schussler. 1999. «Preventing Plant Blindness». *The American Biology Teacher* 61 (2): 82–86. <https://doi.org/10.2307/4450624>.
- Yanez, Gabriela Alonso, Kurt Thumlert, Suzanne de Castell, und Jennifer Jenson. 2019. «Pathways to sustainable futures: A <production pedagogy> model for STEM education». *Futures* 108:27–36. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.02.021>.

Danksagung

Wir möchten uns herzlich bei Franziska Suter (Sekundarlehrperson mit Schwerpunkt Biologie) und Dr. Sylvain Aubry (Pflanzenbiologe an der Universität Zürich) für die tatkräftige Mitarbeit bei der Entwicklung von BioTinkering-Aktivitäten für den NMG- und NT-Unterricht bedanken.

Anhang A

Übersicht geeigneter BioTinkering-Aktivitäten für NMG- und NT-Unterricht (Zusammengestellt aus den Angeboten des Zürich-Basel Plant Science Center und CreativeLabZ, Anleitungen auf <https://www.creativelabz.ethz.ch>)

Lehrplan 21	Phänomen	Challenge
Zyklus 3		
NT 2: Stoffe untersuchen und gewinnen	Biokunststoffe aus pflanzlichen Materialien haben den Vorteil, dass sie biologisch abbaubar sind und werden daher für Verpackungen und Alltagsgegenstände erprobt.	Die SuS stellen Kunst- oder Alltagsobjekte aus selbst hergestellten Biomaterialien her (z. B. Kombucha-Leder, getrocknete Bananenschalen, Biokunststoffe aus Stärke, Gelatine, Brauereiabfälle und Kaffeepulver) und erlernen Methoden der digitalen Fabrikation.
NT 5: Mechanische und elektrische Phänomene untersuchen	Die Mimose reagiert mit einem Zusammenklappen ihrer Blätter auf äussere Reize wie Berührung, Erschütterung, Luftzug oder Lichtveränderungen.	Die SuS bauen den Klappmechanismus der Mimose nach (z. B. mit elektrischen Schaltungen, Programmieren von Mikrocontrollern).
	Für den Transport von Nährstoffen und Wasser aus dem Boden in das obere Blattwerk bedient sich die Pflanze physikalischer Prinzipien: Osmose, Kapillarkräfte und Signalkaskaden.	Die SuS gestalten den Wassertransport in pflanzlichen Leitbahnen nach.

Lehrplan 21	Phänomen	Challenge
NT 6: Sinne und Signale erforschen	Pflanzen reagieren auf Berührungen, Licht, Wärme, Feuchtigkeit. Sie nutzen dafür hoch spezialisierte Detektoren. Pflanzen senden aber auch Signale (chemische, akustische, mechanische, elektrische).	Die SuS messen, wie Pflanzen auf Umweltveränderungen reagieren und visualisieren (gestalten) die Datenanalyse. Beispiel: Elektrische Signale von Pflanzen werden mit Elektroden gemessen. Mit einem MIDI (Musical Instrument Digital Interface) und einer Software, wie Ableton, kann man dann diese Signale in Musik übersetzen.
	Dinoflagellaten sind Einzeller und zeigen Biolumineszenz, wenn sie gestört oder aufgewühlt werden (Meeresleuchten).	Die SuS gestalten dieses Phänomen nach (z. B. mit elektrischen Schaltungen, Programmieren von Mikrocontrollern, Lasercutter).
NT 9: Ökosysteme erkunden	Pflanzen brauchen zum Wachstum Wasser und Licht (aber auch Gravitation und symbiotische Pilze ...).	Die SuS bauen eine Kapsel, in der eine Pflanze auf dem Mond überleben könnte (Space-Farming).
	Mit optischen Geräten und Verfahren kann das Unsichtbare sichtbar gemacht werden.	Die SuS bilden mit Nah- oder Fernaufnahmen (Mikroskop oder Drohne) und Druckverfahren (Monotypie) Elemente eines Ökosystems (Boden, Wiese, Wald) in einer Collage ab.
	Riffe mit ihrer Vielfalt an Pflanzen und Tieren sind ein wichtiges Element für den Küstenschutz.	In einem Wellenkanal testen die SuS selbstkreierte 3D-gedruckte Strand- und Riff-Bausteine und testen, welche Formen und Kombinationen die Wellen am besten brechen. Die Riffelemente werden digital (z. B. in Onshape, Forger) gezeichnet und mit dem 3D-Filament-Drucker (z. B. mittels Ultimaker) gedruckt.

Lehrplan 21	Phänomen	Challenge
Zyklus 2		
NMG 2 Tiere, Pflanzen und Lebensräume erkunden und erhalten	Eine Biene, die auf der Suche nach einer blühenden Pflanze ist, muss sich orientieren können und ihren Weg durch die Landschaft finden.	Die SuS bauen aus Holzklötzchen ein Labyrinth mit Farbsignalen bzw. Blumenmustern. Dann wird ein Thymio-Roboter so programmiert, dass er seinen Weg durch das Labyrinth findet.
	Insekten sehen Pflanzen anders als Menschen.	Die SuS entwerfen eine Fliegenbrille mithilfe eines Lasercutters (mit UV-Filter).
	Insekten haben eine Vielzahl von Mechanismen entwickelt, um Pflanzen (Blüten) zu bestäuben.	Die SuS gestalten Insekten, die mit Solarenergie betrieben werden. Sie überlegen, was es an Organen für die Bestäubung einer Blüte braucht.
	Pflanzen sind sesshaft und haben daher Strategien entwickelt, sich an wechselnde Umweltbedingungen anzupassen.	Die SuS bauen eine Superhero-Pflanze aus Abfallmaterial. Sie gestalten Organe zur Nahrungsaufnahme, zum Schutz oder zur Vermehrung nach (Dies kann mit programmierbaren Elektromotoren kombiniert werden).
	Pflanzensamen haben verschiedene Oberflächenstrukturen, um zu fliegen.	Die SuS gestalten mit Tinkercad und einem 3D-Drucker einen Samen, der fliegen oder kleben kann.
NMG 4 Phänomene der belebten und unbelebten Natur erforschen und erklären	Das Pflanzenpigment Chlorophyll reagiert stark mit Sonnenlicht. Auf Papier oder Stoff bleicht es aus. Diese Eigenschaft kann man sich kreativ zunutze machen (Fotoentwicklungstechnik Anthotype).	Die SuS stellen aus Spinat eine Chlorophyll-Lösung her und beschichten damit säurefreies Papier. Das Chlorophyll-beschichtete Papier wird partiell mit einer Pflanze abgedeckt und mit Sonnenlicht (oder einer UV-Lampe) belichtet.
NMG 5 Technische Entwicklungen und Umsetzungen erschließen, einschätzen und anwenden	Unsere kognitive Fähigkeit sinkt rapide mit zunehmender CO ₂ -Konzentration im Klassenraum.	SuS bauen eine Luft-Qualitäts-Maschine, die den CO ₂ -Anteil in der Luft des Klassenzimmers misst und ein Signal zum Lüften gibt.

Anhang B

Formate	Aktivitäten	Erhebungsmethoden
Projektwochen in Schulen*	BioTinkering mit Pflanzen in NMG, NT	Strukturierte Interviews mit Lehrpersonen (5 TN, NMG, NT) https://evaluation-app1.let.ethz.ch/TakeSurvey.aspx?SurveyID=88108lm6 Feedback Fragebogen für Schüler:innen (50 TN) https://evaluation-app1.let.ethz.ch/TakeSurvey.aspx?SurveyID=84108770
Schulklassenworkshops (2–4 Stunden) im CreativeLabZ Makerspace	Einführung in Methoden der Digitalen Fabrikation (3D-Druck, Lasercutting)	Kurze verbale Feedbackrunde (96 TN, Sek B/C)
Ferienkurse (1 Woche)	Gestalten von Prototypen, Produkten oder Kunstobjekten	Beobachtungsmatrix, ausgefüllt von Kursleiter:innen (10 TN) Feedback Fragebogen für TN (6 Feedbacks bisher) https://evaluation-app1.let.ethz.ch/TakeSurvey.aspx?SurveyID=84119l70
Freizeitangebote in Tagesschulen (6-mal, jeden Mittwochnachmittag)	Gestalten von Prototypen, Produkten oder Kunstobjekten	Beobachtungsmatrix ausgefüllt von Kursleiter:innen (1 TN) Feedback Fragebogen für TN (6 Feedbacks bisher) https://evaluation-app1.let.ethz.ch/TakeSurvey.aspx?SurveyID=84119l70
Individuelle Besuche im Makerspace	Selbstständiges BioTinkering	Keine Erhebungen
Weiterbildungsworkshops (2–4 Stunden)	Hands-on Experimente, Vorstellen von BioTinkering Lehr- und Lernmaterialien	Notizen von Diskussionsrunden (4 Workshops mit Lehrpersonen aus Primar- und Sekundarstufe (NT, NMG, BG, TTG) und Gymnasium Biologie, 50 TN)

Tab. 1: Übersicht der eingesetzten Evaluationsmethoden.

*Grundlage der Evaluation für dieses Manuskript.

Für die Beurteilung von ausserschulischen BioTinkering-Aktivitäten haben wir eine Beobachtungsmatrix entwickelt, die den Kursleiter:innen ermöglicht, den Kursablauf zu strukturieren und zu reflektieren. Grundlage für die Beobachtungsmatrix ist das «Learning Dimensions Framework» (Exploratorium [San Francisco] 2013). Zusammen mit Dozent:innen des Studiengangs *Bachelor Art Education* an der Zürcher Hochschule der Künste (ZHdK) und den am CreativeLabZ angestellten Sozial- und Jugendarbeiter:innen wurde das Framework angepasst, um die Beurteilung von Design und sozialen Interaktionen zu integrieren. Die Beobachtungsmatrix basiert auf Indikatoren und Erhebungsmethoden für das (1) Level von Engagement, Initiative und Intention; (2) die Struktur des (Lern-)Prozesses, den Aufbau von Sozialen Beziehungen und Teamarbeit; (3) die Qualität des Produkts; und (4) die Entwicklung von Verständnis oder Erfahrungen.

Analyseebenen	Indikatoren	Beschreibungen der Interaktionen von Lernenden	Beispiele von Beobachtungen von Gruppen und Individuen
Prozess und Intention	Zeit mit Aktivität verbringen	Spiel, Vorstellen, Umsetzen, Materialien erkunden	
	Motivation zeigen	Ausprobieren neuer Methoden; Durchhalten trotz Schwierigkeiten	
	Selbstreflexion	Beschreiben und Reflektieren des Herstellungsprozesses	
Soziale Strukturen	Verbindung mit der Arbeit Dritter	Wahrnehmung der Arbeit anderer und Stellungnahme dazu; Innovationen durch das Mischen verschiedener Ideen oder Strategien; Physische Verbindung mit den Arbeiten anderer	
	Anforderung/Hilfsbereitschaft	Von Moderator:innen oder anderen TN	
Produkt	Realisierung der Ideen	Inwiefern ist der Vorschlag abgeschlossen oder hat der Lernende die Idee weiterentwickelt	
	Farbe, Form, Zusammensetzung, Funktion	Möglicherweise sind ein oder zwei dieser Kriterien anwendbar	
	Methodische Kompetenzen	Fähigkeiten, Technik und Materialien beherrschen	

Analyse-ebenen	Indikatoren	Beschreibungen der Interaktionen von Lernenden	Beispiele von Beobachtungen von Gruppen und Individuen
Verstehen und erleben	Erkenntnisse ausdrücken	Zeigt Aufregung bei der Realisierung von etwas	
	Erklärungen anbieten	Erklärungen für eine Strategie, ein Instrument oder ein Ergebnis anbieten	
	Vorkenntnisse anwenden	Verbindung zu Vorkenntnissen, einschliesslich MINT-Konzepten	
	Streben nach Verständnis	Bekundung keine Kenntnisse zu haben, aber dennoch gewillt die Verwirrung zu beseitigen und ein Verständnis aufzubauen	
	Fragen stellen		

Tab. 2: Beobachtungsmatrix zum Beurteilen von BioTinkering-Aktivitäten.