

Special Issue

Proceedings of the 12th DiNat Forum 2022

Research-Based Report of Practice

Evolution in den Schweizer Lehrplänen

Judith Lanka¹, Pitt Hild², Daniele Milani³, Justine Letouzey-Pasquier²

Received: August 2022 / Accepted: September 2022

Structured Abstract

Hintergrund: Laut aktuellen Schweizer Lehrplänen sollen Schüler*innen bereits in den ersten beiden Zyklen (Kindergarten bis Ende Primarstufe) evolutionsbezogene Konzepte wie bspw. Verwandtschaft und Abstammung, Veränderlichkeit der Lebewesen oder Adaptation im Unterricht aufbauen. Bestimmte Konzepte sollen dann nach einem spiralcurricularen Prinzip im Laufe des dritten Zyklus (Sekundarstufe) von den Lernenden erweitert werden und ein Verständnis des Erkenntnisprinzips Evolution ermöglichen. Es stellt sich die Frage, inwiefern sich die insgesamt drei Schweizer Lehrpläne in Bezug auf die zu unterrichtenden Konzepte im Bereich Evolution unterscheiden.

Ziel: In diesem Beitrag wird diskutiert, welches Professionswissen, vor allem welches Fach- und fachdidaktische Wissen, Lehrpersonen der unterschiedlichen Zyklen der obligatorischen Schule zum Unterrichten von evolutionsbezogenen Konzepten brauchen und wie die Kompetenzformulierungen und Hinweise aus den drei Schweizer Lehrplänen sie beim Unterrichten einer evolutiven Grundbildung unterstützen.

Rahmen: Die explorative Studie entstand im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts On-Evol. Um die inhaltliche Validität eines zur Messung des Professionswissens von Lehrpersonen im Bereich Evolution eingesetzten Onlinefragebogens zu gewährleisten, wurden Schweizer Lehrpläne auf alle evolutionsbezogenen Inhalte analysiert.

Keywords: *Evolution, Schweizer Lehrplan, evolutive Grundbildung, Professionswissen*

Background: According to various current Swiss educational curricula, by the end of kindergarten and primary school pupils should have become familiar with evolution-related concepts such as kinship and common ancestry of organisms, variability of living organisms and adaptation. Then, during the third and last stages (secondary level), and by way of the spiral curricular principle, particular evolutionary concepts should be expanded upon and the students given to understand evolution as a way of thinking. In total, there are three such concurrent curricula. The question however arises as to what extent these three Swiss curricula differ from each other in terms of the concepts to be taught in the area of evolution.

Purpose: This paper discusses the scope of professional knowledge, in particular content and pedagogical content knowledge, that teachers in the different levels of compulsory schooling require in order to teach evolution-related concepts and whether the competency criteria and guidance notes set out in these three Swiss curricula support teachers in imparting basic evolutionary education.

Setting: The exploratory study was conducted as part of a research and development project called On-Evol. To ensure the content validity of an online questionnaire used to measure the professional knowledge of teachers, Swiss curricula were analysed for all evolution-related content.

Keywords: *Evolution, Swiss curriculum, evolutionary literacy, professional knowledge*

¹Pädagogische Hochschule Zürich, ²Haute École Pédagogique de Fribourg, ³SUPSI Locarno
✉ judith.lanka@phzh.ch

1 Einleitung

Lehrpersonen müssen in ihrem naturwissenschaftlichen Unterricht vermehrt kontroverse Themen wie Pandemiege-schehen und Impfbereitschaft, Einsatz von Antibiotika in Humanmedizin und Tiermast, Konsumententscheidungen und deren Auswirkungen auf die Biodiversität, Klimakrise und Veränderungen in der Landwirtschaft oder den Umgang mit *fake news* im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen thematisieren. Die Auseinandersetzung mit diesen Themen wird in den Schweizer Lehrplänen (CIIP, 2010; DECS 2015; D-EDK, 2015) unter der Leitidee Nachhaltige Entwicklung aufgenommen und soll durch eine Orientierung an gewissen didaktischen Prinzipien wie bspw. der Zukunftsorientierung oder dem Vernetzenden Denken angeregt werden (BNE im Lehrplan 21 oder Éducation au Développement Durable im Bereich *formation générale* im plan d'études romand), damit Schüler*innen befähigt werden, sich aktiv an der Gestaltung von Gegenwart und Zukunft zu beteiligen. Einige dieser Themen haben einen direkten oder indirekten Zusammenhang mit Evolution und der Evolutionstheorie¹.

Evolution wird als Schlüsselkonzept betrachtet, da ein abgesichertes Verständnis dieses Konzeptes erlaubt, viele weitere Themen sowie bereits angesprochene Zusammenhänge im Unterricht fachlich adäquat aufzubauen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Evolutionstheorie die vereinigende Theorie der Biologie und zentral für deren Verständnis (Dobzhansky, 1973). Erkenntnisse und Konzepte der Evolutionstheorie haben direkte Auswirkungen auf unseren Alltag (Cardinale et al., 2014; Ceballos, Ehrlich & Dirzo, 2017; Marques, 2020; Merlo, Pepper, Reid & Maley, 2006; Nesse, 2008). Dennoch bleibt die Evolutionstheorie in Teilen der Bevölkerung unverstanden oder gar umstritten (Kampourakis, 2020a).

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit dem Professionswissen von Lehrpersonen im Bereich Evolution und untersucht, welche evolutionsbezogenen Konzepte in den drei Schweizer Lehrplänen (Deutschschweiz, Romandie und Tessin) der obligatorischen Schule vorhanden sind. Nach einer kurzen Einführung in das Schlüsselkonzept Evolution (Kapitel 2.1) wird der Forschungsstand zum schulbezogenen (Kapitel 2.2) sowie zum fachdidaktischen Wissen (Kapitel 2.3), hier u. a. häufige Präkonzepte, genauer dargestellt. Kapitel 3 beschreibt und vergleicht Kompetenzformulierungen bzgl. Evolution und ihrer Theorie aus den drei Schweizer Lehrplänen. Im letzten Kapitel wird diskutiert, inwiefern die Formulierungen aus den Lehrplänen Lehrpersonen in ihrem professionellen Handeln unterstützen können und bei Schüler*innen ein Verständnis des Schlüsselkonzepts Evolution ermöglichen.

2 Hintergrund

2.1 Eine evolutive Grundbildung

Lehrpersonen sind der einflussreichste schulbasierte Faktor für den Lernerfolg ihrer Schüler*innen und wirken als sogenannte Multiplikator*innen (Hattie, 2009): Gut ausgebildete, in den Naturwissenschaften versierte Lehrpersonen können dazu beitragen, dass Generationen von Schüler*innen das nötige naturwissenschaftliche Verständnis aufbauen und informierte, sachlich fundierte Entscheidungen zu alltäglichen Fragen (bspw. Konsum- oder Freizeitverhalten, Pandemien) treffen können. Voraussetzung dafür ist, dass die Lehrpersonen selbst über ausreichend fachliches und fachdidaktisches Wissen verfügen sowie über gewisse Wertorientierungen, wie z. B. den Wert naturwissenschaftlicher Erkenntnisse für die Gesellschaft oder die Akzeptanz von naturwissenschaftlichen Schlüsselkonzepten- und -theorien (Agathangelou & Charalambous, 2021; Oser & Heinzer, 2010). Das für eine erfolgreiche Vermittlung von evolutiven Zusammenhängen notwendige Professionswissen von Lehrpersonen wurde in Europa nur in wenigen Studien untersucht (Beniermann, 2019; Fischer, Jansen, Möller & Harms, 2021; Grossschedl, Mahler, Kleickmann & Harms, 2014; Konnemann, Höger, Asshoff, Hamann & Riess, 2018; Kuschmierz, et al., 2020).

In Anbetracht der heutigen Krisen – der Biodiversitätskrise und dem 6. Massensterben, der Klimakrise und der Coronapandemie – macht es Sinn, als Basis einer breiten naturwissenschaftlichen auch eine *evolutive Grundbildung* anzustreben (Kampourakis, eingereicht). Kampourakis schlägt vor, in Anlehnung an Roberts und Bybee (Roberts & Bybee, 2014; Roberts, 2007), zwischen einem engeren und einem weiteren Verständnis einer evolutiven Grundbildung zu differenzieren: Einerseits einem Verständnis fachlicher Aspekte der Evolution wie z. B. Anpassung, Variation, Selektion oder Ursachen für biologische Vielfalt, die sogenannte *evolution literacy*, andererseits einem Verständnis von Evolution, um gesellschaftlich relevante Fragen (socioscientific issues) zu verstehen und zu beantworten – die sogenannte *evolutionary literacy*. Abbildung 1 verdeutlicht, dass *evolution literacy* eine Grundvoraussetzung für die Ausbildung einer *evolutionary literacy* ist.

¹ Der Begriff **Evolution** beschreibt die Entwicklung des Lebens und bezieht sich auf alle biologischen Vorgänge, die die Vielfalt der Lebewesen hervorgebracht haben und immer noch hervorbringen. Beniermann (2019, S. 13) definiert den Begriff Evolution als „natürliche[n] Prozess, durch den innerhalb langer Zeiträume neue Varianten und Arten als modifizierte Nachkommen aus gemeinsamen Vorfahren entstehen“. Die **Evolutionstheorie** erklärt die gemeinsame Abstammung der Lebewesen, die Ursachen für die Vielfalt und für den evolutionären Wandel.



Abb. 1. Eine evolutive Grundbildung zur Beantwortung biologisch und gesellschaftlich relevanter Fragestellungen (Kampourakis, eingereicht)

2.2 Evolution verstehen – schulbezogenes (Fach-)Wissen

In diesem Kapitel soll geklärt werden, welche evolutionsbezogenen Konzepte zur einer *evolution literacy* zählen. Evolution als übergreifendes Erkenntnisprinzip spielt vor allem im Biologieunterricht eine zentrale Rolle und kann als verbindendes Element einzelner, häufig isoliert betrachteter biologischer Fachinhalte dienen (Kattmann, 1995; Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, 2017). So verknüpft Evolution scheinbar unabhängige Prinzipien wie z. B. Oberflächenvergrößerung, das Schlüssel-Schloss-Prinzip, das Gegenstromprinzip oder das antagonistische Bewegungsprinzip. Zudem ermöglicht eine geschichtliche, d. h. naturhistorische Sicht ein tiefergehendes Verständnis für biologische Phänomene. Neben der Frage nach den Evolutionsfaktoren ist darum auch die Frage nach dem Verlauf der Evolution, also nach der Geschichte von Arten, Stammlinien und der gesamten Biosphäre Bestandteil des Biologieunterrichts (Kattmann, 1995). Tabelle 1 listet grundlegende Konzepte für das Erkenntnisprinzip Evolution auf, entlang einer möglichen Lernprogression (Andersson & Wallin, 2006; Fiedler et al., 2018; Klös, 2020; Sá-Pinto et al., 2021, Tibell & Harms, 2017).

Tab. 1. Grundlegende evolutionsbezogene Konzepte

Konzept	Erläuterung
Verwandtschaft und Abstammung	Alle Lebewesen stammen von einem gemeinsamen Vorfahren ab und sind durch die gemeinsame Abstammung miteinander evolutionär verwandt.
Veränderlichkeit der Lebewesen	Organismen und ihre Lebensräume sind veränderlich.
Adaptation	Adaptation ist neben Artbildung der Prozess, der die biologische Vielfalt erklärt (für eine kritische Begriffsklärung s. Kampourakis, 2013). Adaptation kann unterschiedlich verstanden werden: a Eine bestimmte Struktur, Verhaltensweise oder ein Stoffwechselprozess eines Organismus wird durch evolutive Prozesse an die Umwelt angepasst; dadurch erhöht sich die reproduktive Fitness. b Als das Resultat dieses evolutiven Prozesses, die Anpasstheit einer Population aufgrund eines Selektionsvorteils. c Ein bestimmtes Merkmal einer Population, welches evolutionär vorteilhaft ist, wird ebenfalls Adaptation (Anpasstheit) genannt.
Variation	Die Unterschiedlichkeit der Individuen innerhalb oder zwischen Populationen oder Arten in Bezug auf ein Merkmal kann genotypisch oder phänotypisch bedingt sein. Die genetisch bedingte Variation entsteht durch genetische Rekombination, zufällige Mutationen und Migration; phänotypisch bedingte Variation (Modifikation) wird durch Umwelteinflüsse ausgelöst. Individuelle Variation bedingt die reproduktive Fitness.
Vererbung insbesondere Rekombination und Mutation	Die Verdopplung, Weitergabe und Umsetzung der Erbinformation gewährleisten eine weitgehend gleiche Grundlage der Merkmalsausbildung bei Eltern und Nachkommen. Rekombination erzeugt genetische Variation durch die Verteilung der Chromosomen bei der Meiose und bei der Befruchtung sowie durch Austausch von Genen beim Crossing-over. Mutationen sind zufällig auftretende Veränderungen der Erbinformation in Zellen.
Selektion	Besser an die Umweltbedingungen angepasste Individuen erreichen eher die Geschlechtsreife und haben einen höheren Fortpflanzungserfolg (reproduktive Fitness). Die Genvarianten der erfolgreicherer Individuen sind häufiger in der Folgepopulation vertreten. Selektionsdruck und unterschiedliche Fitness bewirken andauernde Veränderungen innerhalb einer Population und kann zur Ausbildung neuer Arten führen.
Genetische Drift	Drift bezeichnet zufallsbedingte Veränderungen von Allelhäufigkeiten in einer Population, die nicht durch Selektionseffekte bedingt sind. Sie tritt in erster Linie in kleineren Populationen auf. Die Bedeutung als Evolutionsfaktor ist nicht abschliessend geklärt.

Neben rein fachspezifischen Konzepten können auch gewisse Schwellenkonzepte zentral für das Erfassen bestimmter Sachverhalte einer Disziplin sein (Meyer & Land, 2005). Für eine *evolution literacy* sind dies vor allem die Schwellenkonzepte Zufall, Wahrscheinlichkeit, sowie räumliche und zeitliche Skalen (Ross et al., 2010; Tibell & Harms, 2017). Dies zeigt sich bspw. bei Mayr (1982, S. 479 ff.): Lernende können die (synthetische) Evolutionstheorie nur verstehen, wenn sie neben dem Konzept der Selektion gewisse Schwellenkonzepte, sowie Aspekte aus den Bereichen Ökologie und Genetik verinnerlicht haben. Abbildung 2 stellt ökologische und genetische Tatsachen (Fakten) dar, welche die unterschiedlichen Fortpflanzungserfolge von Individuen und damit eine Veränderung von Populationen bedingen.

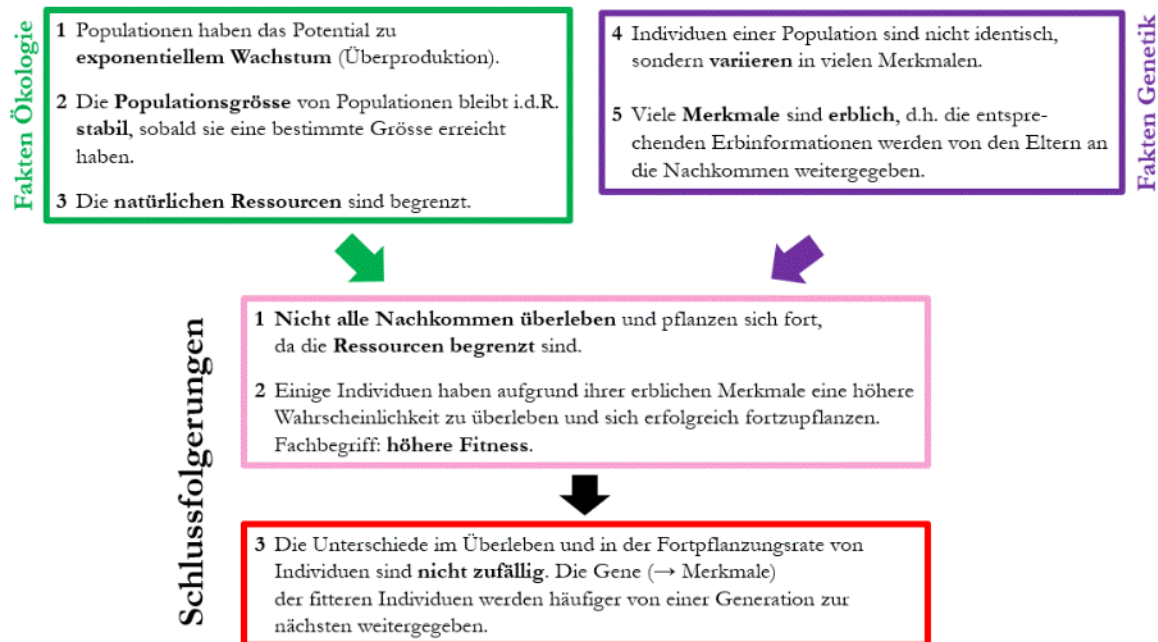


Abb. 2. Natürliche Selektion verstehen (in Anlehnung an Gregory, 2009)

2.3 Evolution unterrichten – fachdidaktisches Wissen

Neben dem pädagogischen und fachlichen (schulbezogenen) Wissen kann das fachdidaktische als dritte Wissensdimension betrachtet werden (Tardent, 2019). Laut Shulman (1986) gelingt es Lehrpersonen mit viel fachdidaktischem Wissen Fachinhalte gemäss Interessen und Fähigkeiten von Lernenden in fruchtbare Lerngelegenheiten zu übersetzen. Studien zeigen, dass Lehrpersonen, die das Vorwissen ihrer Schüler*innen berücksichtigen, bei ihren Schüler*innen einen höheren Lernzuwachs erzielen (Kleickmann, 2008; Staub & Stern, 2002). Diese Befunde konnten auch für den Bereich Evolution mehrmals bestätigt werden (Sickel & Friedrichsen, 2013; Tibell & Harms, 2017). Zabel und Gropengiesser (2011) konnten in einer Interventionsstudie zeigen, welche Erklärungsmuster für Schüler*innen besonders attraktiv sind und welche Konzeptwechsel sie beim Aufbau der Evolutionstheorie machen. Ein fundiertes Verständnis der nötigen Konzepte zum Verständnis der Evolution, inklusive der dazugehörigen Präkonzepte (Denkweisen, Erklärungsmuster, lernhinderliche Begriffe) erleichtert das Lehren evolutiver Zusammenhänge und unterstützt die nötigen Paradigmenwechsel bei den Lernenden. Für eine evolutive Grundbildung bedeutet dies, dass Lehrpersonen dank geeigneter Diagnoseinstrumente herausfinden, wo ihre Lernenden bzgl. ihrer Kompetenzen stehen (Ziadie & Andrews, 2018), sowie nötige Scaffolds herausfinden, welche beim Lernen der evolutionsbezogenen Konzepte unterstützen (Hild & Pflirter, im Druck; Lange, 2010; Voss et al., 2014).

Vielen Lehrpersonen fehlt jedoch im Bereich Evolution ein fundiertes fachdidaktisches Wissen. Sie besitzen ähnlich alternative Vorstellungen zu Evolution wie ihre Schüler*innen und geben diese auch weiter (van Dijk, 2009; Gregory, 2009; Grossschedl, Seredszus & Harms, 2018; Rutledge & Warden, 2000; Yates & Marek, 2014). In den kommenden Abschnitten werden Denkweisen und Erklärungsmuster sowie Begriffe, die ein Verständnis von Evolution erschweren, vorgestellt und ein Einblick in die Datenlage in Bezug auf die Akzeptanz der Evolutionstheorie bei Lehrpersonen gegeben.

2.3.1 Intuitive Denkweisen und alternative Erklärungsmuster

Intuitive Denkweisen (sog. cognitive construals; Coley & Tanner, 2012) entstehen vermutlich aus frühkindlichen Erfahrungen und Dispositionen und dienen der Erklärung der Alltagswelt (Kelemen, 2019; Klös, 2020). Eine intuitive Denkweise kann verschiedene Fehlvorstellungen begünstigen. Drei Denkweisen beeinflussen die Vorstellungsentwicklung zur Evolution und fördern alternative Erklärungsmuster: essentialistische, teleologische und anthropogene. Einige dieser intuitiven Denkweisen werden im Laufe der Kindheit durch geeignetere, wissenschaftlich adäquatere ersetzt, andere sind recht stabil und bleiben auch für Erwachsene attraktiv (Coley & Tanner, 2012).

- Eine essentialistische Denkweise unterstellt allen Dingen und auch Lebewesen eine unveränderliche, wesensbestimmende „Essenz“, die wir nicht sehen können, die diese aber eindeutig kategorisiert. Evans (2000) konnte zeigen, dass essentialistisches Denken bereits bei Vorschulkindern vorhanden ist. Essentialistische Vorstellungen behindern ein evolutionsbiologisches Verständnis u. a. deshalb, weil Artkonstanz zugrunde gelegt und Variation innerhalb einer Population negiert wird, d. h. von Typen ausgegangen wird.
- Eine teleologische Denkweise weist organismischen Systemen eine zweckbestimmte und zielgerichtete Funktion zu. Nicht die wirkenden Ursachen von Prozessen oder Zuständen dienen der Begründung, sondern lediglich die Funktion an sich. Kelemen (2012) hat gezeigt, dass teleologisches Denken bei jüngeren Kindern weit verbreitet ist und im Laufe der Adoleszenz abnimmt. Teleologische Erklärungsmuster verhindern die Einsicht, dass Anpassung kein zielgerichtetes Handeln von Lebewesen beinhaltet, sondern evolutiv zu erklären ist. Solche Erklärungsmuster beinhalten externe Faktoren wie einen „Designer“ oder eine personifizierte Natur und interne Faktoren wie ein inneres Bedürfnis für Veränderung².
- Anthropomorphe Denkweisen schreiben allen Lebewesen menschliche Attribute, wie z. B. ein Bewusstsein und Intention, zu. Sie werden v. a. eingesetzt, wenn wenig Erfahrung mit den zu erklärenden Phänomenen vorhanden ist. Solche Denkweisen bilden sich im Kleinkindalter aus und sind auch bei Kindern im Alter von sechs bis zehn Jahren noch nachzuweisen (Coley & Tanner, 2012). In Studien konnte gezeigt werden, dass Landkinder im Gegensatz zu Stadtkindern kaum anthropomorphe Vorstellungen besitzen (Ross et al., 2003). Anthropomorphe Vorstellungen sind lernhinderlich, da sie evolutionäre Anpassungsprozesse als intentional verstehen und die Lebewesen selbst als Akteur*innen gesehen werden. Die Verwendung von anthropomorpher Sprache fördert solche Vorstellungen.

In mehreren Studien mit Kindern in christlichen fundamentalistischen und nicht fundamentalistischen Schulgemeinden im Mittleren Westen der USA konnte Evans (2001) zeigen, dass Grundschulkinder bis zum Alter von etwa acht bis zehn Jahren stark zu kreationistischen, d. h. essentialistischen und teleologischen Vorstellungen tendieren. Ältere Kinder im Alter von elf bis dreizehn Jahren übernehmen eher die Vorstellungen ihres jeweiligen kulturellen Umfelds, d. h. Evolutionsvorstellungen oder kreationistische Vorstellungen. Eine Erklärung hierfür könnte das zunehmende naturgeschichtliche Wissen und die kognitive Entwicklung sein.

2.3.2. Lernhinderliche Begriffe

Alltagssprachliche Bedeutungen von Begriffen wie z. B. Anpassung, Fitness, Survival of the Fittest oder natürliche Selektion erschweren das Verständnis von Evolution (Tab. 2). Die Begriffe sind eng verknüpft mit den zugrundeliegenden Konzepten (Baumann et al., 2004).

Tab. 2. Lernhinderliche Begriffe: Alltagssprache vs. Fachsprache

Begriff	Alltagssprachliche Bedeutung	Biologische Bedeutung
Anpassung	Anpassung umfasst eine individuelle Reaktion auf (veränderte) Umweltbedingungen „durch absichtsvolles und zielgerichtetes Handeln“ und beinhaltet eine Anpassungs-Erkennntnis und eine Anpassungs-Intention (Baumann et al., 2004, S. 10). Der Prozess der Anpassung und das Produkt der Anpassung werden häufig vermischt: Anpassung erfolgt durch Anpassung.	Tab. 1: Adaptation wird unscharf verwendet und kann sich auf den Prozess oder das Produkt der Adaptation beziehen. Immer jedoch sind evolutive Prozesse ursächlich für Adaptation. Lebewesen sind begrenzt angepasste Systeme. Die Grenzen der Anpassung liegen in ihrer Geschichte.
Fitness	körperliche Verfassung, Durchhaltevermögen, Kraft	In der Biologie wird der Fitnessbegriff uneindeutig verwendet (Ariew & Lewontin, 2004). Darwin hat „fit“ im Sinne von passend / angepasst verwendet. (Reproduktive bzw. biologische) Fitness ist ein Mass für die Adaptation eines Individuums, häufig definiert als die Anzahl der Nachkommen eines Individuums.
Natürliche Selektion	Die Natur wählt die Stärksten aus (alle anderen haben keine Chance).	Ist kein Begriff, sondern ein Erkenntnisprinzip: Im Durchschnitt gelangen Genotypen mit günstigen Eigenschaften häufiger in die Folgegeneration einer Population (Abb. 2).
Survival of the Fittest	Der Stärkste überlebt. Hier besteht auch die Gefahr eines Zirkelschlusses: Wer überlebt? Die Fittesten. Wer sind die Fittesten? Die, die überleben (Greogory, 2009).	Nicht das Überleben eines Individuums ist entscheidend, sondern die Anzahl der fortpflanzungsfähigen Nachkommen, die überleben. Eigenschaften, die die Lebensdauer beeinflussen, sind evolutionär gesehen irrelevant, solange sie nicht den Reproduktionserfolg betreffen.

² Für eine differenzierte Betrachtung von teleologischen Vorstellungen s. Kampourakis (2020b), für Überlegungen zu lamarckistischen Vorstellungen s. Zabel (2009).

2.3.3. Akzeptanz der Evolution

Nebst dem schulbezogenen Fach- und dem fachdidaktischen Wissen haben Lehrpersonen kulturell und kontextuell geprägte Fähigkeiten und Wertorientierungen, auch im Bereich Evolution, die sich auf ihre Unterrichtsgestaltung, bspw. auf die gewidmete Unterrichtszeit und die Gewichtung von Evolution im Unterricht auswirken (Sickel & Friedrichsen, 2013). Um evolutive Zusammenhänge wissenschaftlich adäquat zu unterrichten, scheint es demzufolge wichtig, dass Lehrperson die Evolutionstheorie akzeptieren. Die Studienlage zum Zusammenhang zwischen Wissen über und Akzeptanz der Evolution ist jedoch nicht eindeutig (Bernhard et al., 2020; Fiedler et al., 2019; Grossschedl et al., 2018; Konnemann et al., 2018; Kuschmierz et al., 2020; Rutledge & Warden, 2000; Trani, 2004).

In Studien ermittelte Prädiktoren für eine Akzeptanz der Evolutionstheorie sind Religiosität, ein Verständnis von *Nature of Science*, die Einstellung zu Naturwissenschaften und weitere Dispositionen (siehe Barnes et al., 2019; Dunk et al., 2017). Dunk et al. (2017) konnten in einer Studie zeigen, dass von allen gemessenen Prädiktoren ein adäquates Verständnis vom Wesen der Naturwissenschaften den grössten Einfluss auf die gemessene Akzeptanz der Evolutionstheorie hat.

3 Evolution in den Schweizer Volksschullehrplänen

In den drei Schweizer Volksschullehrplänen, dem Lehrplan 21 (LP21) für die Deutschschweiz (D-EDK, 2015), dem Plan d'Études Romand (PER) für die Romandie (CIIP, 2015) und dem Piano di Studio della Scuola Obbligatoria Ticinese (PSSO) für die italienischsprachige Schweiz (DECS, 2015), wird relevantes Wissen zum Verständnis von Evolution über die Nennung der zu fördernden Kompetenzen beschrieben³. Erste evolutionsbezogene Konzepte werden bereits in den ersten beiden Zyklen der obligatorischen Schule (Z1 und Z2) erwähnt – dies vor allem im Kompetenzbereich *Natur-Mensch-Gesellschaft* (NMG) für den LP21, *mathématiques et sciences naturelles* (MSN) für den PER, sowie *Dimensione Ambiente* für den PSSO. Im deutsch- und französischsprachigen Lehrplan befinden sich für Z1 und Z2 weitere Konzepte zum Verständnis der Evolution in den fächerübergreifenden Themen unter der Leitidee Nachhaltige Entwicklung bzw. *développement durable* (siehe Bereich BNE im LP21 bzw. Bereich *formation générale* (FG) im PER).

Der LP21 enthält für den abschliessenden Zyklus 3 (Z3) Kompetenzformulierungen zum Verständnis von Evolution im Bereich *Natur und Technik* (NT) mit Querverweisen zu einer BNE. Im PER befinden sich Kompetenzformulierungen in den Bereichen MSN, *sciences humaines et sociales* (SHS), sowie FG. Im PSSO befinden sich diese in den beiden Bereichen *scienze naturali* und *storia ed educazione civica*. In den folgenden Abschnitten werden die Kompetenzformulierungen in den drei Lehrplänen detailliert beschrieben und verglichen.

3.1 Lehrplan 21

Evolution taucht im LP21 bereits im Z1 auf und ist bis in Z3 im Sinne eines Spiralcurriculums verankert. Für die ersten beiden Zyklen werden Konzepte zum Verständnis der Evolution explizit im Kompetenzbereich NMG.2 (*Tiere, Pflanzen und Lebensräume erkunden, Natur erhalten und gestalten*) erwähnt: In den Kompetenzen NMG.2.1 (*Tiere, Pflanzen, Lebensräume*) und NMG.2.2 (*Natürliche Grundlagen für Lebewesen*) geht es um das Erkunden von Lebensräumen und deren Lebewesen, sowie um Anpassungen von heimischen Tieren und Pflanzen an die natürlichen Grundlagen. Unter der Kompetenz NMG.2.4 (*Artenvielfalt und Ordnungssysteme*) sollen Schüler*innen heimische Arten kennenlernen, bzgl. gewisser Merkmale beschreiben, Ordnungssystemen zuordnen und Angepasstheiten erkennen. Unter der Kompetenz NMG.2.5 (*Erdgeschichte*) sollen Vorstellungen zur Geschichte der Erde und der Entwicklung der Lebewesen entwickelt und explizit ein Verständnis für die Tiefenzeit gefördert werden, d. h. geologische Zeitdimensionen, die sich uns nur schwer erschliessen.

Im Z3, Kompetenzbereich NT.8 (*Fortpflanzung und Entwicklung analysieren*) lautet die erste Kompetenz: „Die Schüler*innen können Artenvielfalt in Beziehung zur Evolutionstheorie setzen“. Mit der Kompetenz NT.8.1 sollen die Schüler*innen biologische Ordnungssysteme, wie z. B. Stammbäume, als Modelle verstehen, die Evolutionstheorie mit den Evolutionsfaktoren Mutation, Rekombination und Selektion nachvollziehen und die Veränderlichkeit der Arten erfassen. In der Kompetenz NT.8.2 (*Wachstum und Entwicklung*) wird Zellteilung genannt. Unter der Kompetenz NT.8.3 (*Genetik*) werden die molekularen Grundlagen der Genetik beschrieben, inklusive Mutationen als Treiber für genetische Veränderungen. Wahrscheinlichkeit, ein Schwellenkonzept, wird im Zusammenhang mit klassischer Genetik erwähnt. Das Konzept der Anpassung wird ausserdem im Kompetenzbereich NT.6 (*Sinne und Signale erforschen*) bei dem Bau und der Vielfalt der Sinnesorgane verschiedener Tiere erwähnt.

Im Lehrplan 21 wird BNE auf der Basis der Nachhaltigen Entwicklung als Leitidee mit eigenen Themen und didaktischen Prinzipien parallel zu den Fach- und Modul Lehrplänen geführt (oder fächerverbindend bzw. fächerübergreifend proklamiert). Neben anderen Zielen geht es darum, „Wissen und Können aufzubauen, das die Menschen befähigt, Zusammenhänge zu verstehen, [...], Verantwortung zu übernehmen und sich aktiv an gesellschaftlichen Aushand-

³ Bei der Übersetzung der beiden romanischen Lehrpläne ins Deutsche wurde auf eine sinngemäss und korrekt Verwendung der Fachsprache geachtet.

lungs- und Gestaltungsprozessen für eine ökologische, sozial und wirtschaftlich nachhaltige Entwicklung zu beteiligen.“ Im NMG- und NT-Lehrplan befinden sich diverse Querverweise zu BNE, insbesondere zur Thematik *Natürliche Umwelt und Ressourcen*, welche allerdings nicht näher erläutert sind. Weitere Anknüpfungspunkte zu evolutiven Themen bestehen im Fachbereichslehrplan *Räume, Zeiten, Gesellschaften* für Z3 bei der Kompetenz RZG.1.3 (*Naturphänomene und Naturereignisse*).

3.2 Plan d'études romand

Im PER (CIIP, 2010) werden gewisse Konzepte zum Verständnis von Evolution bereits im ersten Zyklus im Kompetenzbereich MSN18 (*Einheit und Vielfalt des Lebens erkunden*) erwähnt: Schüler*innen sollen gemeinsame Eigenschaften und/oder Merkmale des Lebendigen, sowie die Grundbedürfnisse der Lebewesen erkennen (u. a. Fortpflanzung und Ernährung). Im Z2 und Z3 werden diese Konzepte nach dem spiralcurricularen Prinzip genauer untersucht. Die grossen Schlagwörter in diesen beiden Zyklen sind *Biodiversität, Verwandtschaft, Anpasstheit und Stammesgeschichte*.

Im Z2, Kompetenzbereich MSN28 (*Merkmale der lebenden Welt und verschiedener Lebensräume bestimmen und daraus Konsequenzen für den Fortbestand des Lebens ziehen*) sollen Schüler*innen durch Beobachtungen und weitere naturwissenschaftliche Arbeitsweisen Erkenntnisse über Lebewesen sammeln, selbstständig Ordnungssysteme für Lebewesen erstellen, sowie über den Nutzen einer hohen Biodiversität diskutieren. Mehrere biologische Konzepte sollen in diesem Zyklus eingeführt werden, u. a. das Konzept der Artenvielfalt und der Anpasstheit. In den Unterrichtshinweisen zum Bereich MSN28 steht: Biolog*innen haben folgende Kriterien für das Leben definiert: Selbsterhaltung (Vorhandensein eines Stoffwechsels zur Regulierung, Energiegewinnung und -speicherung), Interaktion mit der Umwelt (Reaktion auf Reize), Fortpflanzung mit Evolution. Es wird hier präzisiert, dass sich Lebewesen nur in Interaktion mit der Umwelt entwickeln können und sie sich reproduzieren, um den Fortbestand der Art zu sichern. Als konkrete Unterrichtsthemen werden im PER die Lebenszyklen von Lebewesen, der Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion gewisser Organe, sowie die Konkurrenz zwischen gewissen Lebewesen bspw. bei der Nahrungssuche erwähnt.

Der PER schlägt für den Z2 des Weiteren eine intensive Auseinandersetzung mit dem Einfluss des Menschen auf die Natur vor (u. a. Biodiversität, siehe Kompetenzbereich FG26-27): Schüler*innen sollen Verhaltensweisen identifizieren, welche zum Erhalt oder gar zur ökologischen Aufwertung der Umwelt und biologischen Vielfalt führen. Das Leben bzw. das Lebendige soll über mehrperspektivische Zugänge im Unterricht behandelt werden, u. a. durch die Förderung einer historischen Perspektive auf das Leben (Stammesgeschichte). Obwohl der Kompetenzbereich SHS22 (*Geografie und Geschichte - erkennen, wie die Menschen im Laufe der Zeit hier und anderswo ihr kollektives Leben organisiert haben*) für den Z2 nebst der Entwicklung von Techniken und Lebensweisen auf die Bedeutung der Einordnung von Ereignissen auf langen Zeitskalen eingeht, wird hier nicht explizit auf die Entstehung des Lebens und die Entwicklung der Arten eingegangen.

Für den Z3 schlägt der Kompetenzbereich MSN37 (*Mechanismen der Funktionen des menschlichen Körpers analysieren und daraus Konsequenzen für die eigene Gesundheit ziehen*) vor, die wichtigsten Krankheitserreger (Viren, Bakterien, Pilze), ihre Verbreitungswege und etwaige Mittel zur Prävention und Bekämpfung (Impfstoffe, Antibiotika) zu thematisieren. Die meisten evolutionsbezogenen Konzepte werden jedoch im Kompetenzbereich MSN38 (*Organisation des Lebens analysieren und daraus Konsequenzen für den Fortbestand des Lebens ziehen*) vertieft. In diesem Bereich gibt der PER explizit an, dass Schüler*innen den Ursprung der Biodiversität (Evolution) nachvollziehen können. In diesem Teil wird der Begriff Evolution also explizit erwähnt. Ein letzter Fokus im Z3 liegt auf der Genetik: Schüler*innen sollen verstehen, wie genetische Informationen von einer zur nächsten Generation weitergegeben werden und die Art und Weise der Fortpflanzung verschiedener Organismen vergleichen.

3.3 Piano di studio della scuola obbligatoria ticinese

Im PSSO befinden sich alle relevanten Kompetenzformulierungen bzgl. Verständnis von Evolution für den Z1 und Z2 im Sachfach Umwelt (*dimensione ambiente*). Der Hauptfokus liegt in diesem Fach auf den Beziehungen zwischen Mensch, Gesellschaft und Natur. So sollen Schüler*innen Beziehungen zwischen biophysikalischen Umgebungsmerkmalen und dem Verhalten lebender Organismen (inkl. dem Menschen) analysieren und erkennen, dass sich der Mensch an natürliche Bedingungen anpassen muss. Im Z1 sollen erste Erkenntnisse über die Vielfalt des Lebens⁴ gesammelt werden.

Im Sinne eines Spiralcurriculums werden auch hier diese Konzepte im Z2 erweitert. Schüler*innen sollen sich nun intensiver mit der biologischen wie auch kulturellen Anpassung des Menschen (bspw. Eigenschaften des menschlichen Körpers wie Hautfarbe, Thermoregulation, Essverhalten, aber auch Kleidung) als Reaktion auf eine sich verändernde Umwelt auseinandersetzen. Sie sollen Ausbreitungen und Migrationen (u. a. als Folge einer Nicht-Anpasstheit) von Menschen und anderen Lebewesen im Laufe der Zeit vergleichen und einordnen. Von den Schüler*innen wird erwartet, dass sie selbstständig Zeitleisten erstellen (Vorstellungen zur Geschichte der Erde, Geschichte des Menschen) und mit diesem Modell auch die Entwicklung der Lebewesen (Vielfalt, Stammesgeschichte) erkunden. Schüler*innen sollen einfache Tier- und Pflanzenklassifizierungen, ausgehend von persönlichen Beobachtungen, durchführen. Zusammengefasst steht im PSSO, dass Schüler*innen am Ende des Z2 fähig sein sollen, die Ansprüche von Lebewesen an ihre Umwelt zu identifizieren und anhand trennscharfer Merkmale zwischen Pflanzen, Tieren

⁴ Hier werden keine weiteren Ergänzungen gemacht.

und Menschen unterscheiden können. Sie sollen Organismen, bspw. anhand der Merkmale *Anatomie, Funktionsweise von Organen* und *Lebenszyklen* vergleichen, sprich Unterschiede und Gemeinsamkeiten erkennen und erkunden. Ein weiterer Aspekt im Z2 ist die Analyse von heimischen Ökosystemen.

Im Z3 befinden sich die meisten Kompetenzformulierungen im Fach Naturwissenschaften (*scienze naturali*). Der Kompetenzbereich Ökosysteme und Lebewesen (*ecosistemi ed esseri viventi*) zielt darauf ab, bei den Schüler*innen einen systemischen Blick auf Lebewesen zu fördern. Schüler*innen sollen anhand klarer Kriterien und Merkmalen wie bspw. Ernährung oder Fortpflanzung, Phänomene der Anpassung⁵ analysieren. Im Z3 wird explizit erwähnt, dass sich Schüler*innen mit Ordnungssystemen und Evolutionsmechanismen auseinandersetzen sollen. Zudem soll im Fach Geschichte und Sozialkunde (*storia ed educazione civica*) explizit die Humanevolution behandelt werden.

3.4 Vergleich

Für den Vergleich der drei Lehrpläne dienen die evolutionsbezogenen Konzepte Verwandtschaft und Abstammung, Veränderlichkeit der Lebewesen, Adaptation, Variation, Vererbung und Selektion (Tab. 1). Alle drei Lehrpläne nutzen in Z1/Z2 das Phänomen der Artenvielfalt für die Erkundung sowie die Kategorisierung von Lebewesen, womit das Konzept Verwandtschaft und Abstammung eingeführt werden kann. Ebenso wird die Erdgeschichte bereits in den drei Lehrplänen in Z1 und/oder Z2 thematisiert. Das Konzept Veränderlichkeit der Lebewesen wird in keinem der drei Lehrpläne in Z1/Z2 explizit erwähnt. Im LP21 und im PER wird Adaptation lediglich als Produkt betrachtet, im PSSO wird Adaptation häufig alltagssprachlich als Reaktion eines Individuums auf Umweltveränderungen verstanden. Insbesondere Variation als nötige Grundlage für evolutive Veränderungen findet in Z1/Z2 in keinem der Lehrpläne Erwähnung. Auch Selektion wird hier noch nicht erwähnt.

Im Z3 wird in allen Lehrplänen Verwandtschaft und Abstammung über biologische Ordnungssysteme und die Einführung der Evolutionstheorie vertieft. Die Konzepte Veränderlichkeit der Lebewesen, Adaptation und Variation lassen sich nur im LP21 über die Kompetenzbeschreibung zur Evolutionstheorie herauslesen. Kompetenzformulierungen für Vererbung und Selektion hingegen finden sich in allen drei Lehrplänen für den Z3. Vererbung wird im LP21 und im PSSO mit einer eigenen Kompetenz beschrieben. Das Konzept Selektion wird im LP21 mit der Behandlung der Evolutionstheorie abgedeckt. Im PER kann man davon ausgehen, dass Selektion im Zusammenhang mit Biodiversität thematisiert wird. Im PSSO wird die Evolutionstheorie im Rahmen der Ökologie eingeführt. Tabelle 3 fasst zusammen, in welchen Kompetenzformulierungen die evolutionsbezogenen Konzepte in den drei Schweizer Lehrplänen enthalten sind.

⁵ Der Begriff Anpassung wird im PSSO sehr breit und häufig alltagssprachlich verwendet.

Tab. 3. Evolutionsbezogene Konzepte in den drei Schweizer Lehrplänen

Konzept	Zyklus	LP 21 (Deutschschweiz)	PER (Romandie)	Piano di studio (Tessin)
Verwandschaft und Abstammung	Z1/Z2	Ordnen und Kategorisieren von heimischen Lebewesen Erd- und Stammesgeschichte (zeitlichen Dimensionen)		
	Z3	biologische Ordnungssysteme inklusiv Stammbäume		
		Evolutionstheorie	Evolution (Stammesgeschichte)	Humanevolution Erdgeschichte
Veränderlichkeit	Z3	Veränderlichkeit der Arten, Einführung des Artkonzepts		nicht erwähnt
Adaptation	Z1/Z2	Anpassung als Phänomen, nicht als Prozess		Anpassung der Lebewesen, Folgen bei nicht Angepasst- heit: Ausbreitung/Migration
	Z3	Evolutionstheorie, explizit erwähnt im Zusammenhang mit Ausprägung gewisser Organe/Merkmale		explizit erwähnt
Variation	Z3	nicht explizit erwähnt, implizit in Evolutionstheorie		nicht erwähnt
Vererbung, Mutation, Rekombination	Z3	explizit bei Genetik	implizit bei Erklärung der Artenvielfalt	explizit unter Ökologie
Selektion	Z3	explizit bei Erklärung der Artenvielfalt	implizit bei Erklärung der Artenvielfalt	explizit unter Ökologie

4 Diskussion

Children deserve early formal science instruction that is at once interesting and comprehensively explanatory, offering unifying causal mechanisms and principles that provide a lifelong foundation for making sense of a broad range of potentially disparate phenomena (Kelemen, 2019, 518).

Der Vergleich der drei Lehrpläne zeigt, dass evolutionsbezogene Konzepte im Sinne eines Spiralcurriculums in diesen enthalten sind. Einige Konzepte werden bereits in Z1/Z2 ein erstes Mal thematisiert. Jedoch setzen die Kompetenzformulierungen in den Lehrplänen voraus, dass die Lehrpersonen im Bereich Evolution über fundiertes Fach- und fachdidaktisches Wissen verfügen. Viele Konzepte werden lediglich erwähnt, jedoch nicht definiert, erklärt oder in einen Zusammenhang gebracht.

Die drei Lehrpläne unterscheiden sich in den unteren beiden Zyklen nur wenig hinsichtlich der genannten evolutionsbezogenen Konzepte. In allen Lehrplänen geht es um Vielfalt: das Ordnen und Klassifizieren von heimischen Lebewesen und ihre Angepasstheit. Der Fokus auf Vielfalt ist sicherlich geeignet, um Formenkenntnisse aufzubauen. Die Ursachen für Vielfalt, die mit den Konzepten Verwandtschaft und Abstammung, Veränderlichkeit von Lebewesen sowie Variation bearbeitet werden könnten, werden jedoch nicht in den Lehrplänen erwähnt. Würde das Thema Vielfalt mit einer evolutionären Brille unterrichtet, so könnte eine adäquate Basis für das Erkenntnisprinzip Evolution gelegt werden.

Ein weiterer Bereich in Z1/Z2 ist eine erste Auseinandersetzung mit der Erd- und Stammesgeschichte, die v. a. die Konzepte Verwandtschaft und Abstammung und Veränderlichkeit der Lebewesen beinhaltet. Wir müssen jedoch davon ausgehen, dass diese Fachinhalte häufig ohne Verknüpfung zu diesen Konzepten unterrichtet werden – jedenfalls fehlen nötige Hinweise darauf in den drei Lehrplänen. Man könnte argumentieren, dass Verwandtschaft und Abstammung, die Veränderlichkeit von Lebewesen und Variation triviale Konzepte sind und darum keinen Eingang in die Lehrpläne gefunden haben. Jedoch zeigen verschiedene Studien, dass gerade diese Konzepte kontraintuitiv sind und deren Aufbau durch essentialistisches und teleologisches Denken negiert werden (Baalmann et al., 2004; Shtulman, 2006; Zabel, 2009; Literaturreview in Bruckermann et al., 2021).

Adaptation wird in Z1/Z2 primär als Zustand bzw. als Produkt oder sogar alltagssprachlich verstanden. Auch hier wäre eine differenzierte Betrachtung des Konzepts hilfreich, um teleologische Vorstellungen von gezielter Anpassung oder einer Anpassungsnotwendigkeit möglichst früh mit einem wissenschaftlich adäquateren Verständnis zu ergänzen. Verschiedene Autor*innen plädieren für einen frühzeitigen Konzeptaufbau im Bereich Evolution (Fail, 2008; Kelemen, 2019; Pobiner, 2016).

Im Z3 ist Evolution in allen drei Lehrplänen in separaten Kompetenzformulierungen enthalten. Die Schweizer Lehrpläne orientieren sich grösstenteils an dem Modell von Gregory (2009) (Abb. 2). Bis auf das Konzept der Variation werden im LP21 alle untersuchten evolutionsbezogenen Konzepte erwähnt. Das Konzept der Variation fehlt auch in den anderen beiden Lehrplänen. Bezüglich des Konzepts der Variation konnten Zabel und Gropengiesser (2011) zeigen, dass Natürliche Selektion nur verstanden werden kann, wenn ein Verständnis von Variation vorhanden ist. Im PER gibt es keine explizite Kompetenzformulierung für Vererbung. Im PSSO wird das Konzept der Veränderlichkeit der Lebewesen nicht erwähnt.

Allgemein zeigt der Vergleich, dass die evolutionsbezogenen Konzepte im LP21 häufiger explizit genannt werden als im PER und PSSO und im LP21 eine Umsetzung im Unterricht anhand verbindlicher Inhalte und Beispiele konkretisiert wird. Dies kann am Beispiel der folgenden Kompetenzformulierung aus dem LP21 verdeutlicht werden: „Die Schüler*innen können zentrale Prinzipien der Evolutionstheorie an Beispielen erkennen und Gesetzmässigkeiten nachvollziehen (Evolutionstheorie: Mutation, Rekombination, Selektion)“ (D-EDK, 2015, NT.8.1). Aber auch im LP21 wird in Z3 bspw. nicht expliziert, wie die verschiedenen evolutionsbezogenen Konzepte miteinander verknüpft werden. Dies lässt die These zu, dass die Lehrplanautor*innen davon ausgehen, dass Lehrpersonen das nötige schulbezogene und fachdidaktische Wissen im Bereich Evolution haben und somit selbstständig mit geeigneten Materialien in den Lehrplänen nicht erwähnten Verknüpfungen oder gar ganze Konzepte (s. Variation) zum Erkenntnisprinzip Evolution unterrichten. Internationale Studien haben jedoch gezeigt, dass Biologielehrpersonen ähnlich alternative Vorstellungen zu Evolution wie Schüler*innen besitzen und diese auch an ihre Schüler*innen weitergeben (Beniermann, 2019; Grossschedl, Seredszus & Harms, 2018; Yates & Marek, 2014). Für die Schweiz existieren dazu kaum Daten. In welchem Masse Schweizer Volksschullehrpersonen über evolutionsbezogenes Wissen verfügen und Evolution akzeptieren, wird gerade in einer landesweiten Querschnittsstudie im Rahmen des Projekts On-Evol untersucht. Die Ergebnisse dieser landesweiten Querschnittsstudie könnten dazu beitragen, Auszubildenden an Pädagogischen Hochschulen der Schweiz Hinweise zur Gestaltung ihrer evolutionsbezogenen Aus- und Weiterbildungsmodule zu geben.

Desweiteren stellt sich die Frage, ob mit den Kompetenzformulierungen in den Lehrplänen nur eine *evolution literacy* oder auch eine *evolutionary literacy* aufgebaut werden soll (Abb. 1). Die didaktischen Prinzipien unter der Leitidee Nachhaltige Entwicklung im LP21 und Kompetenzformulierungen im Bereich FG im PER zielen zwar auf eine Auseinandersetzung mit gesellschaftlich relevanten Fragestellungen ab, jedoch sind diese nur wenig konkret formuliert und zeigen den vorhandenen Bezug zu Evolution nicht auf. In diesem Bereich müssten zusätzliche Unterrichtsmaterialien entwickelt werden, die Lehrpersonen bei einer zeitgemässen, die Krisen unserer Zeit berücksichtigenden Gestaltung des Unterrichts unterstützen. In den Modulen der Aus- und Weiterbildung sollten Lehrmittel hinsichtlich des Aufbaus einer *evolution* und *evolutionary literacy* kritisch untersucht werden.

Abschliessend zeigt der Vergleich, dass die Schweizer NMG- und NT-Lehrpläne nicht so geschrieben wurden, dass Evolution als verknüpfendes Erkenntnisprinzip unterrichtet wird. Ob Schüler*innen eine evolutive Grundbildung aufbauen, liegt weitgehend an der Kompetenz ihrer Lehrpersonen. Im Rahmen des bereits erwähnten Projekts On-Evol soll ein Diagnoseinstrument für Lehrpersonen zur Selbstüberprüfung ihres evolutionsbezogenen Wissens entwickelt werden. Zusätzlich müssen Lehrpersonen unterstützt werden bei der Konzeptionalisierung von evolutionsbezogenen Unterrichtseinheiten und der konkreten Umsetzung dieser im Unterricht. Dies kann an den Pädagogischen Hochschulen über Aus- und Weiterbildungsmodulen gelingen, welche auch die bei Schüler*innen vorhandenen Präkonzepte thematisieren und unterrichtliche Strategien zur Bearbeitung und Erweiterung dieser Vorstellungen beleuchten.

Danksagung

Die Ergebnisse in diesem Artikel entstanden im Rahmen des Projekts *On-Evol: Professionalisierung von NMG- und NT-Lehrpersonen im Bereich Evolution*, welches durch die *cogito foundation* (Projektnummer 21-116-R) finanziell unterstützt wird.

Literatur

- Agathangelou, S. A., & Charalambous, C. Y. (2021). Is content knowledge pre-requisite of pedagogical content knowledge? An empirical investigation. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 24, 1-28. <https://doi.org/10.1007/s10857-020-09466-0>
- Andersson, B., & Wallin, A. (2006). On developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education*, 28(6), 673-695. <https://doi.org/10.1080/09500690500498385>
- Ariew, A., & Lewontin, R. C. (2004). The confusions of fitness. *British Journal for the Philosophy of Science*, 55(2), 347-363. <https://doi.org/10.1093/bjps/55.2.347>
- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengiesser, H., & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 7-28.
- Barnes, M. E., Dunlop, H. M., Holt, E. A., Zheng, Y., & Brownell, S. E. (2019). Different evolution acceptance instruments lead to different research findings. *Evolution: Education and Outreach*, 12(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0096-z>
- Beniermann, A. (2019). *Evolution – Von Akzeptanz und Zweifeln*. Springer.
- Bernhard, D., Wilhelm, M., & Helbling, D. (2020). Das Potenzial philosophischer Gespräche im Biologieunterricht zum Thema Evolution. *Progress in Science Education*, 3(2), 37-48. <https://doi.org/10.25321/prise.2020.1004>
- Bruckermann, T., Fiedler, D. & Harms, U. (2021). Identifying precursory concepts in evolution during early childhood—a systematic literature review. *Studies in Science Education*, 57(1), 85-127. <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1792678>
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A. et al. (2021). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R. & Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the national academy of sciences*, 114(30), 6089-6096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>
- CIIP - Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010). Plan d'études romand.
- Coley, J. D., & Tanner, K. D. (2012). Common origins of diverse misconceptions: cognitive principles and the development of biology thinking. *CBE Life Sciences Education*, 11(3), 209-215. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-06-0074>
- DECS - Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport (2015). Piano di studio della scuola obbligatoria ticinese.
- D-EDK - Deutschschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz. (2015). Lehrplan 21.
- Delisle, R. G. (2021). *Natural Selection. Revisiting its Explanatory Role in Evolutionary Biology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65536-5>
- van Dijk, E. (2009). Teachers' views on understanding evolutionary theory: A PCK-study in the framework of the ERTE-model. *Teaching and Teacher Education*, 25(2), 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2008.09.008>
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129. <https://doi.org/10.2307/4444260>
- Dunk, R. D., Petto, A. J., Wiles, J. R. & Campbell, B. C. (2017). A multifactorial analysis of acceptance of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 10(4). <https://doi.org/10.1186/s12052-017-0068-0>
- Evans, E. M. (2001). Cognitive and contextual factors in the emergence of diverse belief systems: Creation versus evolution. *Cognitive psychology*, 42(3), 217-266. <https://doi.org/10.1006/cogp.2001.0749>
- Evans, E. M. (2000). The emergence of beliefs about the origins of species in school-age children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 46(2), 221-254.
- Fail, J. (2008). A no-holds-barred evolution curriculum for elementary and junior high school students. *Evolution: Education and Outreach*, 1(1), 56-64. <https://doi.org/10.1007/s12052-007-0018-3>

- Fiedler, D., Sbeglia, G. C., Nehm, R. H., & Harms, U. (2019). How strongly does statistical reasoning influence knowledge and acceptance of evolution? *Journal of Research in Science Teaching*, 56(9), 1183-1206. <https://doi.org/10.1002/tea.21547>
- Fiedler, D., Tröbst, S., Grossschedl, J., & Harms, U. (2018). EvoSketch: Simple simulations for learning random and probabilistic processes in evolution, and effects of instructional support on learners' conceptual knowledge. *Evolution: Education and Outreach*, 11(15). <https://doi.org/10.1186/s12052-018-0089-3>
- Fischer, J., Jansen, T., Möller, J., & Harms, U. (2021). Measuring biology trainee teachers' professional knowledge about evolution—introducing the Student Inventory. *Evolution: Education and Outreach*, 14(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12052-021-00144-0>
- Gregory, T. R. (2009). Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2), 156-175. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0128-1>
- Grossschedl, J., Seredusz, F. & Harms, U. (2018). Angehende Biologielehrkräfte: evolutionsbezogenes Wissen und Akzeptanz der Evolutionstheorie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 51-70. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0072-0>
- Grossschedl, J., Mahler, D., Kleickmann, T. & Harms, U. (2014). Content-related knowledge of biology teachers from secondary schools: structure and learning opportunities. *International Journal of Science Education*, 36(14), 2335-2366. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.923949>
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- Hild, P., & Pflüger, H.-P. (im Druck). Lernprozesse zum Naturwissenschaftlich-Technischen Handeln unterstützen. In C. Gut & J. Tardent (Hrsg.) *Naturwissenschaftlich-Technisches Handeln*. hep Verlag.
- Kampourakis, K. (eingereicht). Reconsidering the goals of evolution education: defining evolution and evolutionary literacy. *Evolution: Education and Outreach*.
- Kampourakis, K. (2020a). The public acceptance of evolution. In *Understanding Evolution* (Understanding Life, S.1-22). Cambridge University Press.
- Kampourakis, K. (2020b). Students' "teleological misconceptions" in evolution education: why the underlying design stance, not teleology per se, is the problem. *Evolution: Education and Outreach*, 13(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0116-z>
- Kampourakis, K. (2013). Teaching about adaptation: Why evolutionary history matters. *Science & Education*, 22(2), 173-188. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9363-2>
- Kattmann, U. (1995). Konzeption eines naturgeschichtlichen Biologieunterrichts: Wie Evolution Sinn macht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1(1), 29-42.
- Kelemen, D. (2019). The magic of mechanism: Explanation-based instruction on counterintuitive concepts in early childhood. *Perspectives on Psychological Science*, 14(4), 510-522. <https://doi.org/10.1177/1745691619827011>
- Kelemen, D. (2012). Teleological minds: How natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. In K. S. Rosengren, S. Brem, E. M. Evans, & G. Sinatra (Hrsg.), *Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (S. 66-92). Oxford University Press.
- Kleickmann, T. (2008). *Zusammenhänge fachspezifischer Vorstellungen von Grundschullehrkräften zum Lehren und Lernen mit Fortschritten von Schülerinnen und Schülern im konzeptuellen Verständnis*. Dissertation Universität Münster.
- Klöß, T. (2020). Qualitative Erhebungen von Schülervorstellungen von Grundschulkindern zur Evolution sowie die Konzeption und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Humanevolution im Rahmen des Evokids-Projekts. Dissertation Justus-Liebig Universität Gießen.
- Konnemann, C., Höger, C., Asshoff, R., Hammann, M. & Riess, W. (2018). A role for epistemic insight in attitude and belief change? Lessons from a cross-curricular course on evolution and creation. *Research in Science Education*, 48(6), 1187-1204. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9783-y>
- Kuschmierz, P., Meneganzin, A., Pinxten, R., Pievani, T., Cvetković, D., Mavrikaki, E., Graf, D. & Beniermann, A. (2020). Towards common ground in measuring acceptance of evolution and knowledge about evolution across Europe: a systematic review of the state of research. *Evolution: Education and Outreach*, 13(1), 1-24. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00132-w>
- Lange, K. (2010). *Zusammenhänge zwischen naturwissenschaftsbezogenem fachspezifisch-pädagogischem Wissen von Grundschullehrkräften und Fortschritten im Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte bei Grundschulkindern und -schülern*. Dissertation Universität Münster.
- Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2017). *Evolutionsbiologische Bildung in Schule und Universität*. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. Nationale Akademie der Wissenschaften.
- Marques, L. (2020). *Collapse of terrestrial biodiversity*. In L. Marques (Hrsg.), *Capitalism and Environmental Collapse* (S. 247-273). Harvard University Press.
- Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought: diversity, evolution, and inheritance*. Harvard University Press.
- Merlo, L. M. F., Pepper, J. W., Reid, B. J. & Maley, C. C. (2006). Cancer as an evolutionary and ecological process. *Nature reviews cancer*, 6(12), 924-935.
- Meyer, J. H. & Land, R. (2005). Threshold concepts and troublesome knowledge (2): Epistemological considerations and a conceptual framework for teaching and learning. *Higher education*, 49(3), 373-388. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6779-5>
- Nesse, R. M. (2008). Evolution: medicine's most basic science. *The Lancet*, 372, 21-27. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61877-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61877-2)

- Oser, F., & Heinzer, S. (2010). Was die Lehrerbildung vergisst: Kompetenzprofile für erzieherisches Handeln. *Beiträge zur LehrerInnenbildung*, 28(3), 361-378. <https://doi.org/10.25656/01:13755>
- Pobiner, B. (2016). Accepting, understanding, teaching, and learning (human) evolution: Obstacles and opportunities. *American Journal of Physical Anthropology*, 159, 232-274.
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). *Scientific Literacy, Science Literacy, and Science Education*. In N. G. Lederman, & S. K. Abell, *Handbook of Research on Science Education* (S. 545-558). Routledge.
- Roberts, D. A. (2007). *Scientific literacy/science literacy*. In S. K. Abell, & N. G. Lederman, *Handbook of Research on Science Education* (S. 729-781). New York: Routledge.
- Ross, P. M., Taylor, C. E., Hughes, C., Whitaker, N., Lutze-Mann, L., Kofod, M., & Tzioumis, V. (2010). Threshold concepts in learning biology and evolution. *Biology International*, 47, 47-54.
- Ross, N., Medin, D., Coley, J. D., & Atran, S. (2003). Cultural and experiential differences in the development of folkbiological induction. *Cognitive Development*, 18(1), 25-47. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(02\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(02)00142-9)
- Rutledge, M. L., & Warden, M. A. (2000). Evolutionary theory, the nature of science & high school biology teachers: Critical relationships. *The American Biology Teacher*, 62(1), 23-31. <https://doi.org/10.2307/4450822>
- Sá-Pinto, X., Realdon, G., Torkar, G. et al. (2021). Development and validation of a framework for the assessment of school curricula on the presence of evolutionary concepts (FACE). *Evolution: Education and Outreach*, 14(3). <https://doi.org/10.1186/s12052-021-00142-2>
- Shulman, A. (2006). Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. *Cognitive psychology*, 52(2), 170-194. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.10.001>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.
- Sickel, A. J., & Friedrichsen, P. (2013). Examining the evolution education literature with a focus on teachers: major findings, goals for teacher preparation, and directions for future research. *Evolution: Education and Outreach*, 6(23). <https://doi.org/10.1186/1936-6434-6-23>
- Staub, F. C., & Stern, E. (2002). The nature of teacher's pedagogical content beliefs matters for student's achievement gains: quasi-experimental evidence from elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 344-355. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.2.344>
- Tardent, J. (2019). *Unterrichtsplanungen von angehenden Lehrpersonen zum experimentellen Handeln. Eine videografiegestützte Analyse von Unterrichtsplanungen*. Dissertation Universität Heidelberg.
- Tibell, L. A. E., & Harms, U. (2017). Biological principles and threshold concepts for understanding natural selection. *Science & Education*, 26, 953-973. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9935-x>
- Trani, R. (2004). I won't teach evolution. It's against my religion. And now for the rest of the story... *The American Biology Teacher*, 66(6) 419-427.
- Voss, T., Kunter, M., Seiz, J., Hoehne, V., & Baumert, J. (2014). Die Bedeutung des pädagogisch-psychologischen Wissens von angehenden Lehrkräften für die Unterrichtsqualität. *Zeitschrift für Pädagogik*, 60(2), 184-201.
- Yates, T. B., & Marek, E. A. (2014). Teachers teaching misconceptions: a study of factors contributing to high school biology students' acquisition of biological evolution-related misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 7(7). <https://doi.org/10.1186/s12052-014-0007-2>
- Zabel, J. & Gropengiesser, H. (2011). Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of biological education*, 45(3), 143-149. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.586714>
- Zabel, J. (2009). *Die Rolle der Narration beim Verstehen der Evolutionstheorie*. Band 24. Didaktisches Zentrum der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Ziadie, M. A., & Andrews, T. C. (2018). Moving evolution education forward: a systematic analysis of literature to identify gaps in collective knowledge for teaching. *CBE Life Sciences Education*, 17(1). <https://doi.org/10.1187/cbe.17-08-0190>