

---

# *Environmental Literacy*

---

Eine Studie zu Schülervorstellungen, kognitivem  
Wissen, Umwelteinstellungen und umweltbewusstem  
Verhalten

Dissertation zur

Erlangung des akademischen Grades Dr. rer. nat.

der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften

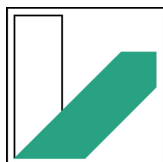
der Universität Bayreuth

vorgelegt von

**Kerstin Katharina Bissinger**

Diplom Biologin

Februar 2016



**UNIVERSITÄT  
BAYREUTH**



Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Januar 2013 bis Februar 2016 in Bayreuth am Lehrstuhl Didaktik der Biologie unter Betreuung von Herrn Prof. Dr. Franz X. Bogner angefertigt.

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth genehmigten Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.).

Dissertation eingereicht am:	09.02.2016
Zulassung durch die Promotionskommission:	17.02.2016
Wissenschaftliches Kolloquium:	13.05.2016

Amtierender Dekan:

Prof. Dr. Stefan Schuster

Prüfungsausschuss:

Prof. Dr. Franz Xaver Bogner

(Erstgutachter)

Prof. Dr. Volker Ulm

(Zweitgutachter)

Prof. Dr. Bettina Engelbrecht

(Vorsitz)

Prof. Dr. Gerhard Gebauer

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Ausführliche Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
1.1	Einleitung . . . . .	7
1.2	Theoretischer Hintergrund . . . . .	10
1.2.1	Schülervorstellungen . . . . .	10
1.2.2	<i>Environmental Literacy</i> . . . . .	11
1.2.3	Umweltbildung am außerschulischen Lernort: Botanischer Garten . .	16
1.2.4	Schülerzentriertes Lernen an <i>hands-on</i> und <i>e-Learning</i> Stationen . .	17
<b>2</b>	<b>Synopsis</b>	<b>21</b>
2.1	Ziele und Fragestellung der Teilstudien A bis D . . . . .	21
2.2	Material und Methoden . . . . .	23
2.2.1	Datenerhebung und Auswertung . . . . .	23
2.2.2	Das Lernmodul Regenwald im Klimawandel . . . . .	29
2.3	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	35
2.3.1	Teilstudie A . . . . .	35
2.3.2	Teilstudie B . . . . .	37
2.3.3	Teilstudie C . . . . .	38
2.3.4	Teilstudie D . . . . .	40
2.4	Schlussfolgerung und Ausblick . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>Teilstudien</b>	<b>53</b>
4.1	Darstellung des Eigenanteils . . . . .	53
4.2	Teilstudie A Schülervorstellungen . . . . .	55
4.3	Teilstudie B <i>Environmental Literacy</i> -Modell . . . . .	68
4.4	Teilstudie C <i>e-Learning</i> . . . . .	90
4.5	Teilstudie D <i>Environmental Literacy</i> -Praxis . . . . .	98
<b>5</b>	<b>Publikationsliste</b>	<b>i</b>
<b>6</b>	<b>Eidesstattliche Versicherungen und Erklärungen</b>	<b>iii</b>
<b>7</b>	<b>Danksagung</b>	<b>v</b>



# Summary

---

Anthropogenic influences on nature have produced and will produce major consequences for societies (Díaz, Fargione, Chapin, & Tilman, 2006). Yet, people within industrialized societies have become increasingly dissociated from the natural world although climate change promises serious implications for humans and ecosystems (Dodd & Jones, 2011). Adolescents often describe climate change as one of today's biggest problems (Vesterinen, Tolppanen, & Aksela, 2016) which requires specific preparation for the adults of tomorrow to cope with their future challenges. Environmental Literacy is a major educational key concept in our times promoting knowledge, attitudes and behaviors to encounter such environmental challenges. Especially knowledge is a needed competence to tackle the uncertainty which is raised by the medial presentation of divers and complex information patterns (Bord, O'Connor, and Fisher (2000), Fortner et al. (2000)).

The present thesis' objective was to develop and evaluate a learning scenario aiming to promote Environmental Literacy. For this purpose students' conceptions were assessed to specifically address potential alternative conceptions (study A). Thereby, it became apparent that students intermingle scientific sound concepts about photosynthesis and wood-synthesis with alternative ones which need special attention within the intervention. The recently proposed environmental competency model (Kaiser, Roczen, & Bogner, 2008) which comprised knowledge appreciative attitudes and behavioral intentions served as a theoretical framework for the Environmental Literacy learning scenario. Within study B the proposed model is expanded by two additional attitudinal components, namely the 2-MEV model and the INS concept. Thereby, the connection between knowledge and behavior was shown to be theoretically promoted by preservation tendencies with system-related knowledge lacking any influence on behavior. As climate change is not observable within a short term-intervention by traditional means study C evaluated an e-Learning scenario which offers authentic climate change data. Students gained knowledge and endorsed the learning scenario's high quality as well as a high usability based on a low cognitive load. Therefore, this scenario was used to complement a hands-on intervention in an outreach environment: a botanical garden (study D). The intervention induced knowledge acquisition, positive attitudes and even subtle behavioral shifts regarding consumer and vicarious behavior, thus, promoted environmental literacy.

In conclusion, alternative concepts about photosynthesis and wood synthesis are still existing and even intermingled with scientific ones. Integrated knowledge profiles' promotion requires steady repetition as well as direct and combined teaching. System-related

knowledge, however, has no influence on attitudes or behavior which are major components of Environmental Literacy. Consequently, a shift towards action- and effectiveness-related knowledge as well as attitudes should be fostered within formal and informal contexts. Thereby, e-Learning paired with authentic learning environments such as botanical gardens were shown to be well-suited to support this endeavor.

# Zusammenfassung

---

Der Klimawandel samt der prägenden anthropogenen Einflüsse hat weitgreifende Einflüsse auf die Natur mit nicht unerheblichen gesellschaftlichen Konsequenzen, welche in Zukunft noch weiter zunehmen werden (Díaz et al., 2006). Darüber hinaus findet in Industriegesellschaften eine zunehmende Entfremdung von der Natur statt, obwohl die Folgen des Klimawandels ernste Auswirkungen auf Menschen und Ökosysteme haben werden (Dodd & Jones, 2011). Oft beschreiben Jugendliche den Klimawandel als eines der größten Probleme in der heutigen Zeit (Vesterinen et al., 2016) und benötigen entsprechend eine angemessene Vorbereitung für ihr späteres Erwachsenenleben. *Environmental Literacy*<sup>1</sup> umschreibt ein aktuelles Schlüsselkonzept der Umweltbildung, das Wissen, Einstellungen und umweltbewusstes Verhalten angemessen in Lehransätze miteinbezieht. Insbesondere individuelles Wissen stellt eine benötigte Kompetenz dar, um beispielsweise der durch mediale Präsentation von diversen und komplexen Informationen hervorgerufenen Unsicherheit, bezüglich der Ursachen und Folgen des Klimawandels, entgegenzuwirken (Bord et al. (2000), Fortner et al. (2000)).

Ziel der vorliegenden Studie ist die Evaluierung eines Unterrichtsmoduls zum Thema Regenwald und Klimawandel, welches speziell zur individuellen Förderung der *Environmental Literacy* entwickelt wurde. In diesem Rahmen wurden im Vorfeld Schülervorstellungen untersucht, um wissenschaftlich nicht korrekte, sogenannte "alternative Vorstellungen", gezielt in der Lerneinheit ansprechen zu können (**Teilstudie A**). Hierbei zeigte sich, dass wissenschaftlich korrekte Konzepte über Photosynthese und Holzbildung mit alternativen Konzepten in den vorhandenen Schülervorstellungen koexistieren. Wissenschaftlich nicht-korrekte alternative Konzepte benötigen entsprechend besondere Aufmerksamkeit im Rahmen des Lernszenarios. Das von Kaiser et al. (2008) vorgeschlagene Umweltkompetenzmodell, welches Wissen (unterteilt in drei Wissensdomänen), naturwertschätzende Einstellungen und Intentionen für umweltbewusstes Verhalten kombiniert, diente als theoretischer Rahmen für die Erstellung des Lernszenarios. In **Teilstudie B** wurde das vorgeschlagene Modell um zusätzliche Komponenten, konkret dem 2-MEV (*Major Environmental Values*) Modell (mit den Variablen *Preservation* und *Utilization*) sowie dem *Inclusion of Nature in One's Self*-Konzept (Variable "Naturverbundenheit"), erweitert. Dabei wurde die theoretische Mediation zwischen Wissen und Verhalten durch umweltschützende Tendenzen gezeigt, wobei Systemwissen keinen empirischen Einfluss auf umweltbewusstes Verhalten

---

<sup>1</sup>Anglizismen, Originalaussagen bzw. Termini in englischer Sprache werden *kursiv* ausgeschrieben. Auf die Verwendung von Anführungszeichen wird in diesem Kontext verzichtet. Eine Ausnahme hierzu bilden wörtliche Zitate.

aufweist. Da Klimawandel mit traditionellen Lernmethoden in kurzen Lerneinheiten nicht zielführend unterrichtet werden kann, befasst sich **Teilstudie C** mit der Evaluierung eines *e-Learning*-Szenarios, welches Originaldaten zum Klimawandel einbezieht. Die teilnehmenden Schüler<sup>2</sup> konnten ihr Wissen durch das *e-Learning*-Szenario erweitern. Dabei bestätigten die Schüler dem Lernszenario eine hohe Qualität (basierend auf Schulnoten) und eine einfache Handhabung (basierend auf einem geringen *cognitive load*). Entsprechend wurde das *e-Learning*-Szenario zur Komplementierung der *hands-on* Lernstationen<sup>3</sup> genutzt. Das kombinierte Lernszenario wurde in der informalen Lernumgebung eines botanischen Gartens durchgeführt und evaluiert (**Teilstudie D**). Das Lernszenario führte zur Wissensakquisition, der nachhaltigen Steigerung der Naturverbundenheit und einer leichten Veränderung ausgewählter Verhaltensintention (Konsum- und vikariierendes Verhalten) und förderte somit *Environmental Literacy*.

Zusammengefasst zeigt sich, dass alternative Konzepte bezüglich Photosynthese und Holzbildung weiterhin existieren und sogar mit wissenschaftlich korrekten Konzepten koexistieren. Die Förderung von integrierten Wissens-Profilen benötigt beständige Wiederholung sowie direktes und kombiniertes Lehren. Systemwissen zeigte jedoch keinen Einfluss auf Umwelteinstellungen oder umweltbewusstes Verhalten, welche bedeutende Kompetenzen von *Environmental Literacy* sind. Entsprechend wäre eine Verschiebung der gelehrten Wissensarten in Richtung Handlungs- und Effektivitätswissen sowie eine Förderung von umweltbewussten Einstellungen wünschenswert, um *Environmental Literacy* zu fördern. Hierfür erweist sich *e-Learning* gepaart mit *hands-on* Lernstationen in einer authentischen Lernumgebung, wie einem botanischen Garten, als gut geeignet alle Kompetenzbereiche der *Environmental Literacy* zu steigern.

---

<sup>2</sup>In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe "Schüler", "Lehrer", "Wissenschaftler", "Politiker", "Umweltbildner" und "Journalisten" geschlechtsneutral verwendet und dienen der erleichterten Lesbarkeit. Die Benutzung dieser Begriffe schließt immer die Nennung des weiblichen Geschlechts mit ein und soll entsprechend nicht wertend aufgefasst werden. Wenn geschlechtsspezifische Unterschiede thematisiert werden, wird entsprechend das Geschlecht durch die Begriffe "männlich" und "weiblich" charakterisiert.

<sup>3</sup>Der Begriff *hands-on* Lernstationen bezieht sich auf die individuelle aktive Teilhabe der Schüler am Lernen unter der Benutzung von haptischen Lernmaterialien im Rahmen eines schülerzentrierten Stationenlernens.



# Kapitel 1

## Ausführliche Zusammenfassung

---

### 1.1 Einleitung

Klimawandel ist eines der prominentesten sozial- und naturwissenschaftlichen Themen, welches von Jugendlichen als eine der größten globalen Herausforderungen benannt wird (Vesterinen et al., 2016). Mittlerweile herrscht ein wissenschaftlicher Konsens über die Existenz des Klimawandels, sodass die Weltgemeinschaft gemeinsame Anstrengungen unternimmt, um dieser Herausforderung zu begegnen. Auf der UN-Klimakonferenz in Paris wurden 2015 gemeinsame Ziele formuliert, um die Treibhausgasemissionen nachhaltig zu senken, und so die Erderwärmung auf 2°C zu minimieren. Allerdings hat die Emission von Treibhausgasen langfristige Folgen, sodass deren Beschränkung bis 2025 bzw. 2030 nur eine geringe Möglichkeit zur Vorhersage von Klimaszenarien bietet. Entsprechend sind derzeit lediglich probabilistische Vorhersagen möglich (Fawcett et al., 2015). In den vorliegenden Szenarien müssen die Anstrengungen der Weltgemeinschaft auch nach 2030 noch weiter vorangetrieben werden, um eine nachhaltige Begrenzung des Temperaturanstiegs zu gewährleisten. Ansonsten existiert nur eine geringe Wahrscheinlichkeit (unter 10%), dass das ursprüngliche Ziel einer Erwärmung von maximal 2°C eingehalten werden kann (Fawcett et al., 2015).

Entsprechend wird Klimawandel als eines der zentralen Schlüsselthemen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) forciert. Diesem Lehrkonzept geht eine historische Entwicklung<sup>1</sup> voraus, welche ihren Beginn in den 1980er Jahren mit dem Brundlandt-Bericht begründet. Hierin wird festgehalten, dass nachhaltige Entwicklung durch die Befriedigung der Bedürfnisse heutiger Generationen ohne die Gefährdung der Befriedigung der Bedürfnisse zukünftiger Generationen gekennzeichnet ist. Diese Definition wurde in der UNO Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 mit dem Vorhaben aufgegriffen, das Konzept der Nachhaltigkeit in den Bildungssektor zu integrieren. Im nationalen Aktionsplan für Deutschland 2005 wurde die Orientierung des deutschen Bildungssystems auf nachhaltige Entwicklung festgelegt. Entsprechend wurden Teilkompetenzen der BNE, wie beispielsweise Kommunikationsfähigkeit, Zusammenarbeit oder naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz verankert (KMK, 2005). Um die Verankerung des Leitbilds global zu unterstützen, wurde zwischen 2005 und 2015 die Weltdekade Bildung für nachhaltige Entwicklung eta-

---

<sup>1</sup>Zusammengefasst nach <http://www.bne-portal.de/un-dekade/zeitleiste-un-dekade/> (Zugriff: Januar 2016)

bliert, um Projekte und Maßnahmen zu fördern, welche die drei Dimensionen der BNE Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren und verschiedene Jahresthemen wie "Energie" (2009) oder "Ernährung" (2012) ins öffentliche Bewusstsein rücken. Ein Jahr vor dem Ende der UN-Dekade wurde das Positionspapier "Zukunftsstrategie BNE 2015+" durch das deutsche Nationalkomitee für die UN-Dekade verabschiedet, welches Anregungen von BNE-Akteuren aus Politik, Bildungspraxis, Wissenschaft und anderen Bereichen berücksichtigt, um die Herausforderungen des Bildungskonzepts und konkrete Lösungsvorschläge darzulegen. Den Abschluss der UN-Dekade in Deutschland bildete die nationale Konferenz zum Abschluss der UN-Dekade in Bonn, welche den Fokus auf ein Resümee der Dekade, ihre Ergebnisse und gemeinsame Zukunftsstrategien (in Form der Bonner Erklärung) in Bezug auf das Weltaktionsprogramms der UNESCO im Sinne einer Nachfolgeagenda legte. Bildung für nachhaltige Entwicklung bleibt damit ein bestehendes Konzept zur Begegnung aktueller Umwelt- und Gesellschaftsproblemiken und soll sowohl im formellen Kontext, wie in Schulen, als auch an informalen, außerschulischen Lernorten etabliert werden.

Der Themenkomplex Klimawandel bietet sich als zentrales Thema an, welches aufgrund der anthropogenen Einflüsse eine Schnittstelle zur Untersuchung verschiedener Kompetenzbereiche der *Environmental Literacy*, insbesondere Wissen, Umwelteinstellung und Verhalten bietet. Das Ökosystem Regenwald, seine Zerstörung, sowie pflanzliche Anpassungsfähigkeiten sind in Bezug auf die Rolle als Kohlenstoffsinken von Bedeutung, da tropische Regenwälder etwa 40% des terrestrischen Kohlenstoffs speichern (Dixon et al., 1994) und entsprechend im Kontext des Klimawandels als Beispielökosysteme dienen können, um Auswirkungen und Triebkräfte des Klimawandels zu illustrieren. Tropische Regenwälder sind geprägt von einer Flora und Fauna, welche extrem auf ihre spezifischen ökologischen Nischen angepasst sind. Durch Klimawandel resultierende Änderungen der Bodenfeuchte sowie durch Landnutzung getriebene Fragmentierung der Wälder sind wahrscheinliche Faktoren, welche die tropische Artendistribution, Ökosystemkomposition und Biodiversität beeinflussen (Engelbrecht et al., 2007).

Allgemein können Arten auf vier Weisen dem Klimawandel begegnen: Akklimatisierung basierend auf phänotypischer Plastizität (Chambers, Higuchi, & Schimel, 1998), Adaption durch genetische Varianz (Davis & Shaw, 2001), Migration durch die Ausbreitung an angemessene Standorte (Parmesan, 2006) oder Aussterben, da keine der anderen Strategien erfolgen konnte (Feeley, Rhem, & Machovina, 2012). Jedoch zeigen Langzeitstudien (beispielsweise Clark, Clark, und Oberbauer (2010)), dass Akklimation und Adaption von tropischen Bäumen unwahrscheinliche Szenarien darstellen, wohingegen Migration bereits durch paläontologische Daten (Nacheiszeitliche Erwärmung) nachgewiesen werden konnten (Feeley et al., 2012). Dennoch ist es unwahrscheinlich, dass tropische Bäume durch Migration ihre Art erhalten können, da lange Generationszeiten, schnell veränderliche klimatische Bedingungen und Fragmentierung der Habitate die Wahrscheinlichkeit für

## 1.1. EINLEITUNG

erfolgreiches Migrieren mindern (Feeley et al., 2012). Entsprechend verändert sich das tropische Ökosystem durch den Klimawandel nachhaltig. Diese Veränderungen werden durch anthropogene Einflüsse weiter vorangetrieben, die ihrerseits den Klimawandel intensivieren. Die Zerstörung durch Brandrodung zugunsten von Ölpalmenplantagen, Futtermittelanbau oder Siedlungsbau ist ein Beispiel für anthropogene Einflüsse, welche Kohlenstoffdioxid- sowie weitere Treibhausgasemissionen und somit den anthropogenen Treibhauseffekt fördern. Ebenso erliegen die Böden durch die Zerstörung des Waldes der Erosion, wodurch klimarelevante Kreisläufe aus dem Gleichgewicht geraten und Folgen für Mensch und Natur auftreten. In diesem Zusammenhang ist auch der Biodiversitätsverlust von Bedeutung, welcher, wie von Bello et al. (2015) beschrieben, zur Defaunierung tropischer Gebiete und damit zur Störung der Bestäubungs- und Ausbreitungsbeziehungen führt. Neben der Waldrodung stellt dieser Zusammenhang ein weiteres Risiko für den Verlust einer wichtigen Kohlenstoffsänke dar (Bello et al., 2015).

Entsprechend sind "Globale Herausforderungen" sowie "Grundlegende Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen" (Geo 10.5 bzw. B 10.3) als Themen im Biologie- und Geographie-Lehrplan der Jahrgangsstufe 10 verankert und bieten die Möglichkeit der Untersuchung eines integrierten Lernszenarios, welches Wissen, Einstellungen und umweltbewusste Verhaltensintentionen fördert. Insbesondere ist fundiertes Wissen eine benötigte Kompetenz, um beispielsweise der Unsicherheit gegenüber Fakten, Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels, welche durch die mediale Präsentation generiert wird, entgegenzuwirken (Bord et al. (2000), Fortner et al. (2000)). Hierbei ist es von Bedeutung etwaige alternative Vorstellungen von Schülern zu erkennen, um diese gezielt anzusprechen und so korrektes Fachwissen zu etablieren. Wissen allein befähigt nachfolgende Generationen jedoch nicht dazu nachhaltige Lösungen für Umweltprobleme umzusetzen. In Anbetracht der BNE-Dimension "Soziales", welche unter anderem globale Verantwortung sowie nachhaltigkeitsgerechte Lebensstile in den Vordergrund stellt und dem Bewusstsein, dass sich Menschen in Industrienationen zunehmend von der Natur entfremden, sind positive Umwelteinstellungen sowie umweltbewusste Verhaltenstendenzen unabdingbar. Kaiser et al. (2008) zeigten mit ihrem Umweltkompetenzmodell das Zusammenspiel zwischen Wissen, Naturwertschätzung und Verhalten. Hierbei spielte Wissen eine untergeordnete Rolle, wohingegen Naturwertschätzung einen größeren Einfluss auf umweltbewusstes Verhalten aufwies. Entsprechend dieses theoretischen Rahmens sollten Bildungsszenarien sowohl Umweltwissen als auch Umwelteinstellungen integrieren. Zu beiden Komponenten finden sich Schlüsselkompetenzen im Bereich der BNE. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit ein schülerzentriertes Unterrichtsmodul zum Thema "Regenwald und Klimawandel" basierend auf zuvor erhobenen Schülervorstellungen entwickelt und in Bezug auf den Wissenserwerb der Schüler sowie deren Umwelteinstellungen und Intentionen für umweltbewusstes Verhalten evaluiert.

## 1.2 Theoretischer Hintergrund

### 1.2.1 Schülervorstellungen

Die effektive Gestaltung von Lerneinheiten setzt die Berücksichtigung von Schülervorstellungen voraus, welche auf den Vorerfahrungen der Schülern beruhen, wodurch fragmentierte bis strukturierte Wissensprofile generiert werden (Vosniadou & Skopeliti, 2013). Die Fragmentierung von Wissen trägt potentiell zur Koexistenz von wissenschaftlichen und alternativen Vorstellungen bei, welche kontextspezifisch auftreten (Driver et al. (1994), Schneider und Hardy (2012)) und den Lernerfolg gegebenenfalls mindern. Die psychologische Perspektive differenziert alternative Vorstellungen in "Fehlvorstellungen" und "Alltagsvorstellungen" (Schneider & Hardy, 2012), wenngleich Bildungsforscher dies heute als überholt ansehen, da der Begriff "Fehlvorstellung" dem Lernenden nicht gerecht wird und den Wert von alternativen Vorstellungen für den Aufbau eines "richtigen" Verständnisses ignoriert (Maskiewicz & Lineback, 2013). Entsprechend wird in der nachfolgenden Studie der Begriff "alternative Vorstellung" verwendet und ist als wissenschaftlich nicht korrekte Vorstellung, die experimentell widerlegbar ist, definiert. "Wissenschaftliche Vorstellungen", im Gegensatz, sind als wissenschaftlich korrekte Vorstellungen definiert, welche durch ein Experiment verifizierbar aber nicht falsifizierbar sind (Schneider & Hardy, 2012).

### Klimawandel

Der Themenkomplex Klimawandel wurde mit den Aspekten "Treibhauseffekt" und "globale Erwärmung" bereits vielfach in wissenschaftlichen Studien beleuchtet (beispielsweise Boyes und Stanisstreet (1993), Andersson und Wallin (2000), Rebich und Gautier (2005), Shepardson, Niyogi, Choi, und Charusombat (2009), Lombardi und Sinatra (2012)). Alternative Vorstellungen wie der Zusammenhang zwischen Umweltproblemen, wie beispielsweise saurem Regen (Boyes & Stanisstreet, 1993), und dem Phänomen des Klimawandels sind entsprechend bekannt. Schüler haben die Vorstellung, dass Umweltschutzmaßnahmen wie Artenschutz gleichzeitig zum Klimaschutz beitragen und somit den Klimawandel verlangsamen oder diesen sogar aufhalten können (Boyes & Stanisstreet, 1993). Ebenso koexistieren alternative Vorstellungen die das Ozonloch mit dem Klimawandel verbinden (Andersson & Wallin, 2000). Alternative Vorstellungen und fragmentiertes Wissen in diesem Bereich sind zum einen in der medialen Präsentation der Themen begründet, wodurch Unsicherheit über die korrekten Zusammenhänge entsteht (Bord et al. (2000), Fortner et al. (2000)), zum anderen wird dieser Zustand auch durch die Darstellungen in Schulbüchern forciert. Dort werden ähnliche Darstellungen zum Treibhauseffekt und dem Ozonloch gezeigt, welche

nicht ausreichend für das Verständnis der Schüler abgegrenzt sind und teilweise sogar alternative Vorstellungen abbilden (Reinfried, Aeschbacher, & Rottermann, 2012). Hierdurch erstellen Schüler *synthetic models*, welche die Kombination der beiden Phänomene zu einem Gedankenkonzept beschreibt (Vosniadou, 1994). Entsprechend konnten vorherige Studien alternative persistierende Schülervorstellungen sowie fragmentierte Wissensprofile in diesem Themenfeld aufzeigen, sodass diese in der vorliegenden Studie berücksichtigt werden.

### **Photosynthese und Holzbildung**

Studien zu Schülervorstellungen im Themenkomplex "Photosynthese und Holzbildung" werden seit den 1980er Jahren verfolgt und weisen eine prominente alternative Vorstellung auf: "Pflanzen nehmen Nährstoffe aus ihrer Umgebung auf" (Haslam und Treagust (1987), Stavy, Eisen, und Yaakobi (1987)), wodurch die Rolle als Primärproduzenten ignoriert wird. Ein Verständnis für die autotrophe Lebensweise von Pflanzen ist anscheinend nicht im Wissensprofil der Schüler integriert, was sich in der Tatsache, dass Schüler in der Regel die chemische Gleichung der Photosynthese reproduzieren können, ihre tiefere Bedeutung jedoch nicht verstehen (Ekici, Ekici, & Aydin, 2007), widerspiegelt. In diesem Zusammenhang wurde postuliert, dass ein tieferes Verständnis den Schülern verwehrt bleibt, da diese eine chemische Gleichung nicht mit einem biologischen Prozess verbinden (Stavy et al., 1987). Die Existenz von alternativen Vorstellungen in diesem Themenkomplex wurde zwar ausführlich untersucht, jedoch lag der Schwerpunkt hierbei weder auf der Betrachtung von potentiellen Determinanten, noch auf der Integrierung des Wissensprofils. Diese Faktoren sind entsprechend noch nicht verstanden und daher Teil der vorliegenden Studie, um dies bei der Wissensvermittlung im Rahmen der Förderung von *Environmental Literacy*-Kompetenzen zu berücksichtigen.

### **1.2.2 *Environmental Literacy***

Der Ausdruck *Environmental Literacy* findet seinen Ursprung in einem Zeitungsartikel (Roth, 1968), welcher als Antwort auf den medial-geprägten Ausdruck *environmental illiterates* galt. Letztere bezeichnen Individuen, die umweltverschmutzend handeln (Roth, 1992). Umweltbildner, Politiker, Journalisten und Wissenschaftler etablierten den Begriff in ihrem Vokabular, wenngleich eine gemeinsame Definition fehlte. Tatsächlich wurde der Begriff in vielfältiger Weise verwendet, welche jeweils die individuelle Vorstellung repräsentierte. Allgemein bezieht sich der Begriff *literacy* entweder auf die Fähigkeit zu Lesen und zu Schreiben oder auf Bildung, welche umfassendes Wissen und Lernkulturen fördert (Roth, 1992). Diese eher allgemeine Definition wurde im Laufe der Zeit auf *Environmental Literacy* (in Bezug auf umweltrelevante Themen) erweitert.

Diese Definition umfasst diverse Kompetenzen, welche über einzelne kognitive Fähigkeiten hinausgehen. Hierunter fallen bestimmte Arten des Denkens ebenso wie Handlungs- und Bewertungskompetenzen (Roth, 1992). Dabei wird Kompetenz als Kapazität für die Interaktion eines Individuums mit seiner Umwelt verstanden (White, 1959), welche von der individuellen Motivation zur Steigerung und Erhaltung des Kompetenzlevels abhängig ist (De Young, 1996). Des Weiteren ist eine "Voraussetzung" für die Benennung von Kompetenzen nötig, da der Begriff durch den Besitz von Fähigkeiten und Fertigkeiten als Antwort auf eine Voraussetzung definiert wird (Ribes, 1990). Fähigkeiten und Fertigkeiten sind dabei einfach zu beobachtende Variablen, welche sich zum Beispiel durch das Ausschalten von Licht, um Energie zu sparen, manifestieren. Im Gegensatz dazu sind "Voraussetzungen", die nötig sind um Fähigkeiten in Kompetenzen zu modifizieren, schwerer zu erkennen, da diese häufig durch soziale Normen und Werte konstruiert werden (Corral-Verdugo, 2002).

Allgemein lassen sich die Kernkompetenzen der *Environmental Literacy* in vier Bereiche untergliedern: Wissen, Affekte, Fertigkeiten und Verhalten, welche sich wiederum in affektive und kognitive Domänen untergliedern lassen (Goldman, Assaraf, & Shahrabani, 2013). Die kognitive Domäne bezieht sich hierbei auf individuelles Wissen über ökologische Konzepte und Zusammenhänge, kognitive Fähigkeiten zum Analysieren von Umweltproblemen, Fertigkeiten zum Erarbeiten und Umsetzen von Naturschutzstrategien sowie insbesondere auch das Abwägen und kritische Hinterfragen von Alternativen. Die affektive Domäne bezieht sich auf das individuelle Umweltbewusstsein, Einstellungen und Werte in Bezug auf die Umwelt ebenso wie Gefühle der Selbstwirksamkeit in Bezug auf Handlungswirksamkeit und Verantwortung (Goldman et al., 2013).

### **Wissen**

Die Förderung von kognitivem Wissen ist ein übergeordnetes Bildungsziel, da es dazu dient Zusammenhänge zu verstehen und sich eine eigene Meinung zu bilden. Frick, Kaiser, und Wilson (2004) präsentierten kognitives Wissen als ein multidimensionales Konstrukt, welches aus drei Dimensionen – System- (SYS), Handlungs- (ACT) und Effektivitätswissen (EFF) – aufgebaut ist. Systemwissen bezeichnet das in der Regel lehrplanrelevante Faktenwissen über die Umwelt und kennzeichnet sich in diesem Zusammenhang durch ein Verständnis von natürlichen Prozessen und Interaktionen in Ökosystemen. Im Gegensatz dazu befähigt Handlungswissen seinen Besitzer Wissen über individuelle Handlungen zu haben, welche umwelt- und naturschutzrelevant sind. Effektivitätswissen komplettiert dieses Konstrukt und erklärt die Wirksamkeit der einzelnen Handlungen, welche im Handlungswissen verankert sind.

Vorhergehende Studien beschreiben diese Wissensdimensionen als miteinander verknüpft und als in Beziehung stehend mit Einstellungen und Verhalten (Roczen, Kaiser, Bogner, & Wilson, 2013). Entsprechend kann die Förderung von Wissen durch Inter-

ventionen theoretisch zur Änderung von Einstellungen und Verhalten führen. Wissen ist entsprechend ein primärer Baustein von Interventionsstudien, da dieses bereits durch kurze Interventionen gesteigert werden kann (Duerden & Witt, 2010). Die Messung der Wissenszunahme erfolgt in der Regel durch die Auswertung von Wissensfragen vor und nach einer Intervention. Die Schwierigkeit hierbei ist, dass die Fragen jeweils unterrichtsspezifisch abgestimmt sein müssen und somit nur schwer zwischen verschiedenen Themenfeldern vergleichbar sind sowie entsprechend für verschiedene Interventionen neu evaluiert werden müssen.

Jugendliche von heute beschreiben den Klimawandel als eines der größten zeitgenössischen Probleme (Vesterinen et al., 2016), empfinden zeitgleich jedoch eine Unsicherheit bezüglich der Ursachen, Handlungsmöglichkeiten und Folgen aufgrund der komplexen Darstellungen in den Medien (Bord et al. (2000), Fortner et al. (2000)). Entsprechend bietet sich eine gezielte Wissensvermittlung an, um dieser Unsicherheit entgegenzuwirken. Interventionen sollten hierbei allen drei Wissensdomänen gerecht werden, um Jugendliche gezielt auf ihre Herausforderung als erwachsene Weltbürger von morgen vorzubereiten.

### **Einstellungen**

Wissen allein reicht jedoch nicht aus, um ein nachhaltiges Weltbürgertum zu begründen. Entsprechend ist es wichtig, die Transformierung von Wissen zu nachhaltigem Verhalten zu betrachten. Persönliche Umwelteinstellungen spielen hierbei eine entscheidende Rolle und dienen als potentiell Bindeglied zwischen Wissen und Verhalten (Roczen et al. (2013), Kaiser et al. (2008)). Im von Kaiser et al. (2008) beschriebenen Umweltkompetenzmodell werden Umwelteinstellungen durch umweltwertschätzende Präferenzen repräsentiert. Diese können durch die von Brügger, Kaiser, und Roczen (2011) etablierte *Disposition to Connect with Nature* (APP)<sup>2</sup> gemessen werden. Die Wertschätzung der Natur spiegelt sich hierbei in vielfältigen Verhaltensweisen wie dem Beobachten von Wolken oder Tieren, dem Genießen von Naturerfahrungen (z.B. Spaziergänge im Wald oder barfuß über Wiesen gehen) oder dem Reden mit Tieren und Pflanzen wider.

Generell wurde das Erheben von Umwelteinstellungen jedoch als komplexe und vielfältige Aufgabe beschrieben, welche ein allgemeingültiges und psychometrisch abgesichertes Messinstrument voraussetzt (Bogner, Johnson, Buxner, & Felix, 2015). Das *2-Major Environmental Value* Modell (2-MEV), welches von Bogner und Wiseman (1999) entwickelt wurde, ist mittlerweile als ein prominentes Messinstrument etabliert und wurde mehrfach unabhängig bestätigt (Borchers et al. (2014), Boeve-de Pauw und Van Petegem (2011), Johnson und Manoli (2008), Milfont und Duckitt (2004)). Die 2-MEV Skala umfasst *Utilization* (Umweltausnutzungs-) sowie *Preservation* (Umweltschutz-) Tendenzen, welche

---

<sup>2</sup>Diese Skala wird im nachfolgenden mit APP abgekürzt. Die Abkürzung leitet sich aus Roczen et al. (2013) ab, da sie hier zur Messung von *appreciative attitudes* (umweltwertschätzenden Einstellungen) verwendet wird.

durch jeweils 10 Fragen mit Hilfe einer fünfstufigen Likert Skala erfasst werden. Hierbei ist eine individuelle Positionierung für jeden Faktor möglich. Eine Person kann theoretisch eine hohe Naturschutzpräferenz haben und gleichzeitig die Ausnutzung natürlicher Ressourcen billigen (Bogner & Wiseman, 2002).

Naturnutzungstendenzen implizieren ein anthropozentrisches Weltbild (Dunlap, 2008), welches mit einer kontinuierlich voranschreitenden Entfremdung von Mensch und Natur einhergeht. Entsprechend gilt es dieser Entfremdung entgegenzuwirken und somit die Naturverbundenheit und damit Umweltschutzpräferenzen zu fördern. Das *Inclusion of nature in one's self concept* (INS) kann mit Hilfe einer einzelnen graphischen Darstellung die Naturverbundenheit explizit messen (Schultz, 2001). Durch die Auswahl eines von sieben mit den Begriffen "Ich" und "Natur" gekennzeichneten überlappenden Kreispaares kann die Einbeziehung der Natur in das Selbstkonzept der Schüler erfasst werden. Zur Förderung der *Environmental Literacy* ist die Stärkung umweltbewusster Einstellungen von enormer Bedeutung. Diese können vornehmlich durch langfristige Interventionen in authentischen naturnahen Umgebungen verändert werden (Bogner und Wiseman (1999), Johnson und Manoli (2008)).

Vielfach verfolgen Individuen zwar umweltbewusste Handlungen, allerdings auf Basis von äußeren Faktoren wie ökonomischen oder gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Fällt der äußere Rahmen jedoch weg, ist anzunehmen, dass Individuen wieder in ihre alten Muster zurückfallen. Ein Beispiel hierfür sind die flämischen *Ecoschools*, in welchen umweltbewusstes Verhalten durch die Vergabe von Labels stimuliert wurde. In Schulen, welche die "Grünen Fahne" (höchste Auszeichnung) erreicht hatten, konnten keine gesteigerten umweltbewussten Verhaltensweisen im Vergleich zu Kontrollschulen gefunden werden (Boeve-de Pauw & Van Petegem, 2013). Grund hierfür ist vermutlich die lineare Vermittlung von umweltbewusstem Verhalten, welches den Lernenden als denkendes Individuum sowie seine persönlichen Umwelteinstellungen missachtet (Boeve-de Pauw & Van Petegem, 2011). Entsprechend stellt die Veränderung persönlicher Umwelteinstellungen (kombiniert mit umfassendem Wissen) eine nachhaltigere Vorgehensweise dar, um umweltbewusstes Verhalten zu fördern. Hierbei sollten vornehmlich Änderungen im Bereich der Umweltschutzpräferenz (*Preservation*) forciert werden, da diese im Gegensatz zur Umweltausnutzungspräferenz (*Utilization*) in umweltbewusstes Verhalten resultieren kann (Milfont & Duckitt, 2004).

### **Verhalten**

Klimawandel als sozial-wissenschaftliches Thema stellt menschliche Verhaltensweisen häufig in den Vordergrund, da diese ausschlaggebend für den anthropogenen Treibhauseffekt sind, welcher zu den Ursachen des Klimawandels zählt. Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung ist es umso wichtiger, umweltrelevante Verhaltensfelder wie Mobilität,



Energieverbrauch und Ernährung nachhaltig zu gestalten. Gifford (2014) betonte, dass Verhaltensentscheidungen hauptsächlich zu Hause begründet werden und entsprechend aus den Gewohnheiten der Familie resultieren. Im Gegensatz dazu zeigten Fraser, Gupta, und Krasny (2014) die erhöhte Relevanz von Umweltbildung auf, deren ultimatives Ziel die positive Beeinflussung von Verhalten ist (Stern, Powell, & Ardoin, 2008).

Mit dem ursprünglichen Ziel die Einstellungs-/Verhaltenslücke zu messen, adaptierten Kaiser, Oerke, und Bogner (2007) ein Messinstrument für Jugendliche, welches ursprünglich für Erwachsene konzipiert wurde (Kaiser, 1998) und auf *self-reports* basiert. Insgesamt dienen 40 Fragen der Erfassung von sechs Verhaltensdomänen: "Energie sparen", "Mobilität und Transport", "Müllvermeidung", "Recycling", "Konsumverhalten" sowie "Vikariierende Verhalten in Bezug auf Umweltschutz". Die Häufigkeit stellvertretender Handlungen wird auf Basis einer fünfstufigen Likert Skala, welche von "sehr oft" bis "nie" reicht, erfasst. Vorhergehende Studien haben diese fünf Stufen zu Analysezwecken kollabiert (z.B. Oerke und Bogner (2013)). *Self-reports* unterliegen oft der Problematik der sozialen Erwünschtheit, welche Teilnehmer dazu bringt tendenziell sozial erwünschte Angaben zu machen, wenngleich diese nicht dem eigentlichen Verhaltensmuster entsprechen (Oerke & Bogner, 2013). Durch die Erfassung der verschiedenen Domänen wird den Teilnehmern eine strategische Auswahl durch die Vielseitigkeit erschwert, da die Teilnehmer oftmals nur in einer Domäne mit sozial erwünschten Antworten vertraut sind. Des Weiteren bieten die verschiedenen Domänen die Möglichkeit ein allgemeines Verhaltensmuster zu porträtieren und spezifische Verhaltensmuster zu erkennen. In dieser Funktion wurde die Skala in verschiedenen unabhängigen Studien eingesetzt (z.B. Geng, Xu, Ye, Zhou, und Zhou (2015), Oerke und Bogner (2013), Uitto, Boeve-de Pauw, und Saloranta (2015)).

### **Bisherige Modelle**

Langfristige gesellschaftlich manifestierte Nachhaltigkeit erfordert die Aneignung von umweltbewussten Verhaltensmustern. Die Identifikation der unterliegenden kognitiven, motivationalen und strukturellen Faktoren ist ausschlaggebend, um Gefährdungen, Gründe und Konsequenzen in Bezug auf umweltbezogene Nachhaltigkeit zu verstehen (Steg & Vlek, 2009). Obwohl umweltbewusste Verhaltensweisen bereits teilweise in modernen Gesellschaften etabliert sind, existiert immer noch Potential, um die unterliegenden umweltbewussten Tendenzen zu fördern (Pfattheicher, Sassenrath, & Schindler, 2015). Um dieses Vorhaben zielführend umzusetzen, ist ein detailliertes Verständnis sowohl der potentiell triggernden Kompetenzen sowie deren Erfassungsmöglichkeiten nötig, um nachhaltiges Verhalten zu fördern. Zu diesem Zweck bieten sich Kompetenzmodelle an, welche die Zusammenhänge zwischen den triggernden Kompetenzen beschreiben. Bisher wurden nur wenige umfassende Kompetenzmodelle beschrieben (Kaiser et al., 2008). Diese umfassen neben der Zielvariablen (umweltbewusstes Verhalten) hauptsächlich psychosoziale Determinanten (Pfattheicher et al. (2015), Takahashi und Selfa (2014)), vornehmlich

individuelle Motivationen und Kompetenzen (Corral-Verdugo, 2002), individuelle Charaktereigenschaften (Brick & Lewis, 2014), kognitives Wissen (Frick et al. (2004), Roczen et al. (2013)) und Umwelteinstellungen (Brick und Lewis (2014), Milfont und Duckitt (2004)).

Kaiser et al. (2008) stellten ein ausgeglichenes Modell auf, welches Wissen, Umweltwertschätzung und umweltbewusstes Verhalten miteinander verbindet. Dieses Modell basiert auf einer ökologie-spezifischen Domäne, welche im Kontrast zu traditionellen Modellen steht, die individuelle Konsumverhaltensmuster, welche der ökonomischen Domäne zuzuordnen sind, als Basis verwendeten. Die Autoren betonten, dass die Einstellungsdomäne durch wiederholte angenehme Naturerfahrung gefördert werden könne, sodass die emotionale Naturverbundenheit gestärkt werde, worin sich ein vermutlich praxisnäherer Bezug für Umweltbildungsprogramme zeige. Des Weiteren wird erwartet, dass die Wissensdomäne zukünftige umweltbewusste Verhaltensweisen fördert, da Wissen die Naturwertschätzung und damit die Einstellungsdomäne fördern kann. Das vorgestellte Modell wurde durch Roczen et al. (2013) mit Schülern der Jahrgangsstufen sechs bis acht praktisch evaluiert. Die Autoren setzten hierbei multidimensionales Wissen (Systemwissen, Handlungswissen, Effektivitätswissen) in Beziehung zu naturwertschätzenden Einstellungen (Brügger et al., 2011) sowie generellem ökologischen Verhalten (GEB, Kaiser et al. (2007)). Dieses Modell bildet die Basis für die vorliegende Studie. Schwerpunkte sind hierbei die Themenunabhängigkeit, da insbesondere das kognitive Wissen im Modell themenspezifisch abgefragt wird, sowie die Ergänzung weiterer Umwelteinstellungsvariablen.

### 1.2.3 Umweltbildung am außerschulischen Lernort: Botanischer Garten

Ziele der Umweltbildung sind Wissensvermittlung, Förderung positiver Umwelteinstellungen sowie schlussendlich die Vermittlung umweltbewussten Verhaltens. Ein Bereich der Umweltbildung wird als "Bildung für nachhaltige Entwicklung", welche auch die Domänen der *Environmental Literacy* miteinbezieht, bezeichnet. Hierdurch wird im Gegensatz zu traditionellen naturwissenschaftlichen Wissensvermittlung integriertes Wissen mit ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten vermittelt. Trotz der Verankerung im Lehrplan gehen diese Teilbereiche häufig über die Kapazitäten eines "normalen" naturwissenschaftlichen Unterrichts hinaus. Entsprechend empfiehlt es sich Umweltbildungsthemen fächerverbindend mit Kollegen der gesellschaftswissenschaftlichen Fächern zu unterrichten. Häufig werden diese Themen jedoch auch in einen informalen Lernkontext ausgegliedert, wobei dafür geschulte Umweltbildner an außerschulischen Lernorten integrierte Konzepte zur Berücksichtigung der umfassenden Zusammenhänge bereithalten (Goldman et al., 2013).

## 1.2. THEORETISCHER HINTERGRUND

In diesem Kontext spielen botanische Gärten eine wichtige Rolle. Jährlich erreichen die rund 60 botanischen Gärten Deutschlands mehr als 20 Millionen Besucher und vermitteln traditionell Wissen über die Vielfalt der Pflanzenwelt (Verband botanischer Gärten, 2016)<sup>3</sup>. Sie bieten dabei eine authentische Lernumgebung, welche Schüler mit allen Sinnen begreifen können. Darüber hinaus beherbergen sie als lebende Museen eine große Sammlung an Pflanzen, welche Schüler faszinieren können, um so dem Phänomen der sogenannten *plant blindness* entgegenzutreten. Dieses Phänomen manifestiert sich in der untergeordneten Wahrnehmung von Pflanzen (Wandersee und Schussler (2001), Schussler und Olzak (2008)) und wird unter anderem durch das Phänomen des *zoochauvinism* begünstigt, welcher die bevorzugte Verwendung von Tieren als Beispielorganismen im Unterricht beschreibt (Bozniak, 1994). Schüler sowie Lehrer betrachten Pflanzen eher selten im Unterricht, wenngleich diese als Primärproduzenten sowie Kohlenstofffixierer eine wichtige Rolle in den Ökosystemen der Erde innehaben. In Anbetracht des anthropogenen Treibhauseffekts ist die letztere Eigenschaft von großer Bedeutung. Neben dem aquatischen Phytoplankton sind insbesondere die Regenwälder der Erde eine große Kohlenstoffsенке, welche im Minutentakt zunehmend zerstört wird.

Botanische Gärten können hier als Metapher für die komplexen Zusammenhänge zwischen Mensch und Umwelt wirken (Sanders, 2007) und so die Aufmerksamkeit von Schülern auf die Auswirkungen menschlichen Handelns auf die Umwelt lenken. Hierdurch können sie als "Fenster zur botanischen Welt" ihre Stärke als authentische Lernumgebung mit der Möglichkeit für multi-sensorische Lernerfahrung unter Beweis stellen und einen Beitrag zur *Environmental Literacy*, durch die Kombination traditioneller Wissensvermittlung sowie der Förderung von Umwelteinstellung und Naturverbundenheit, leisten. Bildungsprogramme sind neben Forschung, universitärer Lehre, Freizeit- und Erholungsangeboten ein wichtiger Punkt in der Agenda der botanischen Gärten weltweit und wurden insbesondere für den Themenkomplex Klimawandel und dessen Einfluss auf Nachhaltigkeitsaspekte und Biodiversitätsthemen fest etabliert (Wyse, Jackson, & Sutherland, 2000). Die Lehrstrategien umfassen hierbei traditionell Führungen, Vorträge sowie Ausstellungen, welche zunehmend durch moderne Workshopangebote oder schülerzentrierte Lehrmethoden wie Stationenlernen ergänzt werden.

### 1.2.4 Schülerzentriertes Lernen an *hands-on* und *e-Learning* Stationen

Im Gegensatz zum traditionellen Frontalunterricht stellt schülerzentriertes Lernen das eigenständige Erfahren und Gestalten von Schülern in den Mittelpunkt. Hierbei werden in der Regel selbsterklärende Lernmaterialien und Arbeitshefte (zur Ergebnissicherung) verwendet. Hierdurch werden Schüler aktiv eingebunden, wodurch eine nachhaltige Wis-

---

<sup>3</sup><http://verband-botanischer-gaerten.de/pages/botgaerten.html> (Zugriff 25.01.16)

sensvermittlung gefördert werden kann. Der Lehrer fungiert hierbei als Mentor und greift nicht direkt in das Lerngeschehen ein, sondern berät die Schüler lediglich bei auftretenden Schwierigkeiten, um ihnen die nötige Hilfe zur Selbsthilfe bereitzustellen (Settlage, 2000). Entsprechend ist es wichtig als Lehrender zuvor die Erwartungen, die Zielsetzungen sowie das Vorgehen zu erläutern, um so eine gemeinsame Basis zwischen Schülern und Lehrendem zu haben und so ein erfolgreiches Stationenlernen sicherzustellen. Diese Rahmenbedingungen ermöglichen verschiedene Formen der Gruppenarbeit, wodurch Gestaltungs Kompetenzen im Sinne der BNE sowie Schlüsselkompetenzen im Sinne der Bildungsstandards gefördert werden. Hierunter fallen beispielsweise: "Gemeinsam mit anderen planen und handeln können" oder "Kommunikationsfähigkeit" (KMK, 2005).

Des Weiteren bietet sich der Rahmen des Stationenlernens an, um den Ansatz der *inquiry based science education* (IBSE; forschend-entdeckendes Lernen) zu verfolgen. Hierbei agieren die Schüler als "Wissenschaftler", stellen eigene Hypothesen auf und untersuchen diese mit Hilfe von Experimenten. Dieser Ansatz wurde bereits in den 1950er Jahren vorgeschlagen, um der kurzsichtigen Anwendung von Naturwissenschaftlichen Erkenntnissen entgegenzutreten, welche den Schülern kein tieferes Verständnis für den Prozess und die Methoden der freien Forschung vermitteln (Muller, 1957). In den 1960er Jahren wurden daraufhin viele amerikanische Schulbücher umstrukturiert, sodass die Grenzen der aktuellen Forschung, Diskussionen über den wissenschaftlichen Fortschritt und von den Schülern zu interpretierende Daten präsentiert wurden. Zudem wurden häufiger Experimente im Unterricht verwendet (Bybee, 2003). Hierdurch wurde forschend-entdeckender Unterricht jedoch mehr zu einer Art des Lehrens als zu einem zentralen inhaltlichen Punkt des Lehrplans. Dabei wurde IBSE auf wenige Experimente im Unterricht sowie einen Slogan reduziert, wenngleich gerade in den 1980er Jahren Forschungen über diese Unterrichtsform vorangetrieben wurden, deren Erkenntnisse Ende der 1990er Jahren eine Renaissance der IBSE begründeten (Bybee, 2003). Heute lässt sich IBSE als ein bewusster Prozess definieren, welcher die Diagnose von Problemen, das kritische Hinterfragen von Experimenten, die Entwicklung von Alternativen, das Planen von Untersuchungen, das Recherchieren von Informationen, das Konstruieren von Modellen sowie die Diskussion, Argumentation und allgemein Kommunikation mit Mitschülern umfasst (Linn, Davies, & Bell, 2004).

Die Grundzüge dieses Ansatzes sind in den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz berücksichtigt (KMK, 2005), sodass vor allem im Kompetenzbereich "Erkenntnisgewinnung" viele Aspekte von IBSE, wie beispielsweise "Beobachten", "Vergleichen" und "Experimentieren", verankert sind. Je nach Grad der Schülerautonomie lassen sich verschiedene Stufen von IBSE unterscheiden. In der vorliegenden Studie beinhalten die Stationen meist geleitete Ansätze, in welchen die Interpretation der Ergebnisse sowie die Untersuchung in der Verantwortung der Schüler liegt. *Inquiry based science education* kann

nicht nur im Rahmen von *hands-on* Stationen, sondern auch im Bereich des *e-Learnings* eingesetzt werden.

*E-Learning* wird als "neues Lernparadigma" (Yacob, Kadir, Zainudin, und Zurairah (2012), Sun, Tsai, Finger, Chen, und Yeh (2008)) angesehen und findet entsprechend zunehmend Anwendung im modernen Unterricht. Gerade das Thema "Regenwald und Klimawandel" bietet sich an, um *e-Learning* Lernressourcen einzusetzen, da Schüler hierbei mit authentischen Daten das Phänomen selbst untersuchen können. Des Weiteren können interaktive Modelle ergänzend eingesetzt werden, um Schüler den Stockwerkbau des tropischen Regenwaldes, welcher in den Gewächshäusern nur bedingt abgebildet wird, näher zu bringen. Alltägliches, individuelles Konsumverhalten und dessen Auswirkungen auf den persönlichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck kann hierdurch ebenfalls untersucht werden.

Die Aufmerksamkeit der Schüler kann hierbei durch die *e-Learning* Ressourcen auf bestimmte, seitens der Ressource ermöglichte, Aspekte fokussiert werden (Barrett, Stull, Hsu, & Hegarty, 2015), wodurch ein umfassenderes Verständnis gefördert werden kann (Ryoo & Linn, 2012). Allgemein wurden bisher jedoch wenige Studien über die Lernerfolge von *e-Learning* gestütztem Unterricht durchgeführt (Manochehr, 2006), wenngleich durch vorhandene Studien erhöhtes Interesse sowie positive Einstellungen gegenüber dem Thema nachgewiesen werden konnten (Stern, Barnea, & Shauli, 2008). Allgemein ist jedoch darauf zu achten, die "Interaktivität" der *e-Learning* Ressourcen auf einem angemessenen Level zu halten, um effizientes Lernen zu gewährleisten und Ablenkungen bzw. geistige Überlastungen von Schülern zu vermeiden (Van Merriënboer & Ayres, 2005).

### ***Cognitive Load***

Die geistige Anstrengung eines Schülers kann beim Lernen starke Auswirkungen auf den Lernerfolg haben. Die *Cognitive Load Theory*, welche von Sweller, van Merriënboer, und Paas (1998) etabliert wurde, bietet eine geeignete Basis zur Erfassung der geistigen Anstrengung. Theoretisch ist die kognitive Kapazität limitiert und untergliedert sich in drei Teilkomponenten<sup>4</sup>: *intrinsic*, *extraneous* und *germane cognitive load*. *Intrinsic* bezieht sich hierbei auf die Komplexität eines Lerninhaltes, welche durch die Elementinteraktivität geprägt ist. Ergänzend hierzu bezieht sich die *extraneous*-Komponente auf die Präsentation des Lerninhalts, welche je nach Gestaltung die geistige Verarbeitung des Lerninhalts erleichtert oder erschwert. Diese zwei Komponenten sind vom Lehrenden zu berücksichtigen und effektiv zu gestalten, um eine möglichst große Kapazität für den *germane cognitive load* bereitzustellen. Dieser bezeichnet alle lernrelevanten Prozesse, die zur Verarbeitung von Informationen benötigt werden (Sweller et al., 1998). Der *cognitive load* kann durch eine individuelle Einstufung der geistigen Anstrengung auf einer Skala von 1 bis 9 erfolgen, wobei das Setzen eines Ankerpunktes, mit dem die Schüler vertraut sind (z.B. "5 = normale

---

<sup>4</sup>Zusammengefasst nach Sweller et al. (1998)

Biologie-Unterrichtsstunde”), wichtig für die persönliche Einstufung ist (Paas & Van Merriënboer, 1994). Hierdurch kann zwar der gesamte *cognitive load* bestimmt werden, eine Aufteilung in die drei Teilkomponenten ist jedoch nicht möglich und erfordert eine qualitative Herangehensweise.

### ***Computer User Self-Efficacy***

Der erfolgreiche Einsatz von *e-Learning* gestützten Lernstationen ist neben der geistigen Anstrengung auch von der *Computer User Self-Efficacy* abhängig. *Self-Efficacy* wird durch die persönliche Vorstellung der eigenen Fähigkeiten eine bestimmte Tätigkeit auszuführen definiert und ist abhängig von früheren Selbsterfahrungen (eigener Erfolg und Misserfolg), vikariierenden Erfahrungen (Erfolg bzw. Misserfolg von anderen beobachten), verbalen Beeinflussungen (von Gleichgesinnten, Kollegen etc.) und affektivem persönlichem Zustand (z.B. Angst) (Cassidy & Eachus, 2002). Eine hohe *self-efficacy* wirkt hierbei steigernd auf die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Abschließens einer Aufgabe (Bandura, 1986). Hierbei kann die *self-efficacy* domänenspezifisch unterschiedlich ausgeprägt sein und wurde vor allem im Bereich des Arbeitens mit Computern als ausschlaggebender Faktor beschrieben (Cassidy & Eachus, 2002). Ebenso beeinflusst die *Computer User Self-Efficacy* Akzeptanz von Computern als Werkzeug zur Erfüllung von Aufgaben, unabhängig von der individuellen Wahrnehmung der Sinnhaftigkeit der computergestützten Aufgabe (Hill, Smith, & Mann, 1987). Aufgrund des egozentrischen Ursprungs des Konstrukts werden *self-reports* zur Erhebung des Konstrukts verwendet. Cassidy und Eachus (2002) entwickelten hierfür eine Skala, welche im Gegenteil zu vorausgegangenen Skalen (z.B. Compeau und Higgins (1995)) allgemeiner formuliert wurde, um die individuelle *Computer User Self-Efficacy* angemessen zu porträtieren.

## Kapitel 2

# Synopsis

---

Klimawandel ist eines der prominentesten *socio-scientific*-Themen, welches die Weltgemeinschaft vor immer neue Herausforderungen stellt. Da es sich hierbei um ein andauerndes Phänomen handelt, welches stark von anthropogenen Einflüssen geprägt wird, sind vor allem nachfolgende Generationen davon betroffen. Entsprechend ist es wichtig Jugendliche dabei zu unterstützen als mündige Weltbürger zukünftig Zusammenhänge zu verstehen, zu bewerten sowie nachhaltige Entscheidungen zu treffen und umzusetzen. Das Konstrukt der *Environmental Literacy* spielt hierbei eine entscheidende Rolle bei der Qualifizierung von Jugendlichen, indem es Wissen, Einstellungen und umweltbewusstes Verhalten in den Fokus stellt. Im Rahmen dieses Konstrukts sind Bildung für nachhaltige Entwicklung sowie forschend entdeckendes Lernen zwei mögliche Bausteine, um die Ziele der *Environmental Literacy* zu fördern. Aufgrund der zunehmenden Entfremdung zwischen Mensch und Natur, welche ein anthropozentrisches Weltbild verkörpert, sollten Naturschutzpräferenzen und Naturverbundenheit durch positive Erfahrungen an authentischen naturnahen Lernorten gesteigert werden, um Schüler durch ein relativiertes Weltbild zu umweltbewusstem Verhalten zu animieren. Zu diesem Zweck wurde in vorliegender Studie ein bestehendes Umweltkompetenzmodell um zwei weitere Einstellungskomponenten erweitert und darauf basierend ein Lernmodul, unter Berücksichtigung von Schülervorstellungen, entwickelt, implementiert und unter Betrachtung des Wissenszuwachses, der Naturverbundenheit und umweltbewusstem Verhalten evaluiert.

## 2.1 Ziele und Fragestellung der Teilstudien A bis D

**Teilstudie A** verfolgte das Ziel die bisher ungeklärte Struktur von Schülervorstellungen zu untersuchen, mögliche Determinanten zu identifizieren und zu überprüfen, ob heute noch alternative Vorstellungen im Bereich Photosynthese und Holzbildung auftreten. Konkrete Fragestellungen hierzu lauteten: Welchen Einfluss haben die potentiellen Determinanten Alter, Geschlecht, und Bildungshintergrund auf

- (I) die Koexistenz von wissenschaftlichen und alternativen Vorstellungen?
- (II) die Benennung von alternativen und wissenschaftlichen Konzepten?

**Teilstudie B** zielte auf die Erweiterung eines bestehenden Kompetenzmodells um zwei weitere Einstellungskomponenten, welche von Bedeutung zum einen zur Evaluation eines anthropozentrischen Weltbildes, zum anderen als potentiell verhaltens-triggernde Variablen sind. Des Weiteren diente diese theoriegeleitete Teilstudie der praktischen Kalibrierung der themenspezifischen Wissensitems und der Reduzierung der benötigten Items, zwecks

einer benutzerfreundlicheren Umsetzung in einer informalen Lernumgebung. Entsprechend leiteten sich nachfolgende Forschungsfragen ab:

- (I) Welche Beziehung besteht zwischen den Umwelteinstellungen *Preservation, Utilisation* und *Inclusion of Nature in One's Self* und dem etablierten Umweltkompetenzmodell (Kaiser et al., 2008)?
- (II) Sind die durch Expertenrating entwickelten Wissensfragen, durch Rasch-Kalibrierung und *structural equation modelling*, den entsprechenden Wissensdomänen Systemwissen, Handlungswissen und Effektivitätswissen, welche Bestandteil des *Environmental literacy* Modells sind, zuzuordnen?
- (III) Reicht die reduzierte Anzahl an manifestierten Variablen, um alle latenten Variablen des *Environmental Literacy* Modells adäquat zu berechnen?

**Teilstudie C** diene als Pilotstudie für die Interventionsstudie und zielte primär auf die Schülerwahrnehmung der *e-Learning* Einheit ab, da vorhergehende Studien hier vor allem eine ausgeglichene Interaktivität zur Vermeidung einer kognitiven Überlastung forderten, um so den potentiellen Lernerfolg nicht zu mindern. Daraus abgeleitet ergaben sich folgende Forschungsfragen:

- (I) Wie bewertet die Zielgruppe die entwickelte *e-Learning* Einheit?
- (II) Stehen die empfundene Qualität, die kognitiven Belastung und das Computeruser-Selbstkonzept in Zusammenhang?
- (III) Zeigen die Schüler nach Bearbeitung der *e-Learning* Einheit den gewünschten Lernerfolg?

**Teilstudie D** vereinigt die Erkenntnisse der vorausgehenden Teilstudien in einer dazu entwickelten Intervention, welche das Ziel verfolgt *Environmental Literacy* insbesondere Wissen, Naturverbundenheit und umweltbewusstes Verhalten, zu fördern. Hierbei wurden folgende Forschungsfragen untersucht:

- (I) Fördert die Intervention die Wissensakquise der Schüler?
  - (Ia) Verzeichnen die Schüler einen allgemeinen Wissenszuwachs?
  - (Ib) Unterscheiden sich die einzelnen Wissensdomänen in ihrer Entwicklung zwischen den drei Testzeitpunkten?
- (II) Fördert die Intervention die Naturverbundenheit der Schüler?
- (III) Kann das theoretische Zusammenspiel von Wissen und Naturverbundenheit in der Praxis die Intension für Konsumverhalten und vikariierende Verhalten, verändern?



## 2.2 Material und Methoden

Im nachfolgendem werden die Datenerhebung, das Lernmodul, sowie die Datenauswertung der Teilstudien beschrieben. **Die Lernmaterialien des Lernmoduls werden aufgrund von *Copyright*-Rechten in einem gesonderten Anhang abgedruckt.** Die Lernmaterialien des *e-Learning* Moduls werden im Anhang exemplarisch durch *Screenshots* präsentiert. Das gesamte *e-Learning* Modul ist unter <http://green-education.eu/> abrufbar. Um den Fragebogen zu überspringen, empfiehlt es sich den Button "Ergänzung zum Lernzirkel" zu wählen. Die Zugangsdaten zur Datenbank sind "Schueler" (Benutzer) und "Expedition" (Passwort).

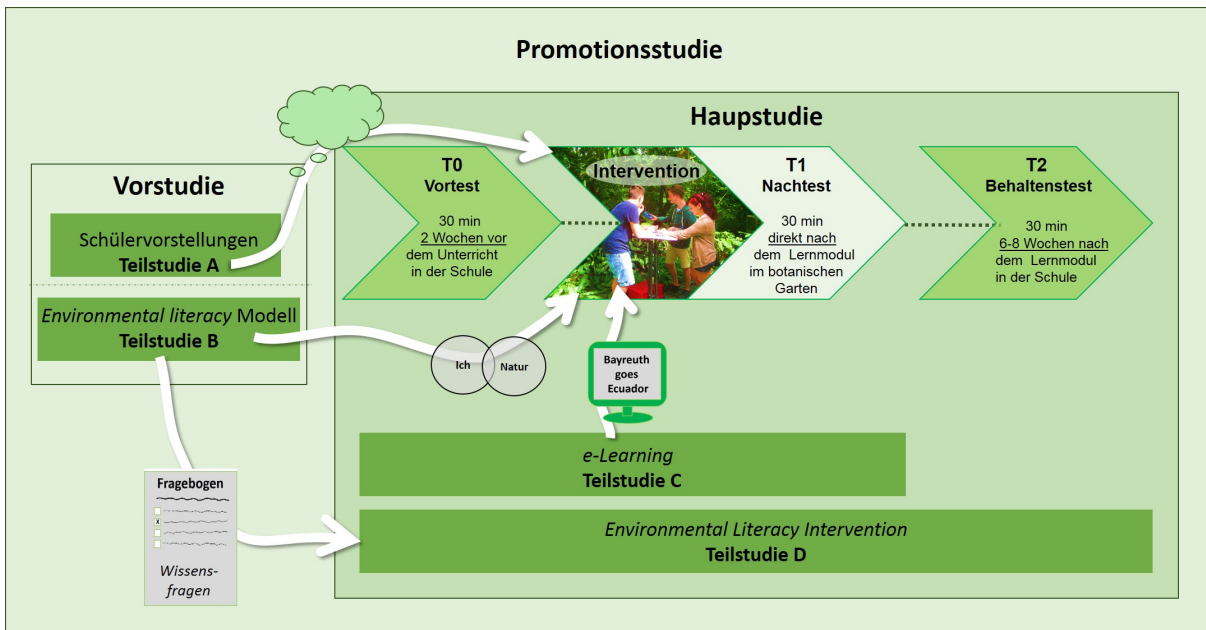
### 2.2.1 Datenerhebung und Auswertung

Die Datenerhebung variierte in Abhängigkeit der Zielsetzung und Fragestellung der Teilstudien. Mit Ausnahme von Teilstudie A wurden Schüler der gymnasialen Jahrgangsstufe 10 befragt. Hierfür wurden von den Teilnehmern der Studie Papierfragebögen ausgefüllt, welche in Teilstudie C durch Angaben in einem "digitalen Arbeitsheft" (von den Schülern bearbeitete, abgespeicherte Powerpoint-Präsentation) ergänzt wurden. Tabelle 2.1 fasst die Datenerhebung zusammen. Insgesamt haben 1575 Teilnehmer an vorliegender Studie teilgenommen. Die Datenauswertung schloss lediglich Teilnehmer ein, die alle *Items* der für die Forschungsfragen relevanten Skalen zu den untersuchten Zeitpunkten beantwortet hatten. Entsprechend ergaben sich teilweise Abweichungen in den Stichproben der Teilstudien. Grundsätzlich basiert die vorliegende Studie auf einer Vorstudie sowie einer Hauptstudie, die einem Quasi-Experimentellen-Design bestehend aus Vortest (T0), Nachtest (T1) und Behaltenstest (T2) folgt. Die Vorstudie diente zur Erhebung der Daten von Teilstudie A und B, wohingegen die Daten der anderen Teilstudien in der Hauptstudie aufgenommen wurden und Interventionsbezug hatten. Abbildung 2.1, illustriert hierbei die Zusammenhänge zwischen den Teilstudien.

**Tabelle 2.1:** Übersicht der Teilstudien

Teilstudie	Testzeitpunkte	Teilnehmerzahl	Zielgruppe
A	1	885	Schüler (Jgst. 6, 10), Studenten (NaWi, andere)
B	1	321	Schüler (Jgst.10)
C	2 (T0, T1)	114	Schüler (Jgst.10)
D	3 (T0, T1, T2)	255	Schüler (Jgst.10)

Jgst.: Jahrgangsstufe; NaWi: Naturwissenschaftliche Studiengänge (Biologie, Chemie und entsprechenden Lehramtsstudiengängen); andere: alle weiteren Studiengänge.



**Abbildung 2.1:** Studiendesign: Teilstudie A und B wurden als Vorstudie durchgeführt. Die in Teilstudie A erfassten Schülvorstellungen wurden in der Intervention berücksichtigt. Teilstudie B validierte die Zugehörigkeit der Wissensitems zu den drei Wissensdomänen und stellte die affektiven Komponenten als wichtige Variablen der *Environmental Literacy* heraus, welche daraufhin explizit in die Intervention eingebaut wurden. Teilstudie C und D werden als interventionsbezogene Hauptstudie zusammengefasst. Teilstudie C diente als Pilotstudie insbesondere für die Evaluation des *e-Learning*-Moduls basierend auf einem Vortest-Nachtest-Design. Teilstudie D untersuchte den Einfluss der Intervention auf die Variablen Wissen, Einstellungen und Verhalten in einem Vor-Nach-Behaltenstest-Design.

## Teilstudie A

Teilstudie A basiert auf Daten von insgesamt 885 Teilnehmer (46,2% männlich, Durchschnittsalter  $M=18,71$  Jahre  $\pm$   $SD=3,87$  Jahre), welche zwei offene Fragen zum Thema Photosynthese und Holzbildung beantworteten. Die aufgegliederte Zusammensetzung der Teilnehmergruppe ist in Tabelle 2.2 dargestellt. Die offenen Fragen wurden basierend auf insgesamt drei Testläufen mit Studenten entwickelt um eine exakte Formulierung zu finden, die für die Teilnehmer verständlich ist und alle vorhandenen Vorstellungen der Teilnehmer abfragt. Die offenen Fragen lauteten:

- a. Der derzeitige höchste tropische Baum ist der gelbe Meranti Baum (*Shorea faguettiana*) im Tawau Hills National Park (Malaysia). Er ist 88,32 m hoch.<sup>1</sup> Zählen Sie auf, was der Baum Ihrer Meinung nach tagsüber aus seiner Umgebung aufnehmen<sup>2</sup> muss, um so einen hohen Stamm zu bilden?

<sup>1</sup>Diese Studie wurde gemeinsam mit Frau Christine J. Thorn durchgeführt. Hierbei verfolgten wir das Ziel den Einfluss von Bildung zu untersuchen. Frau Thorn erhob Daten in der Jahrgangsstufe 6 mit dem Themenschwerpunkt Ökosystem Wald. In unserer gemeinsamen Publikation wurde der Übersichtlichkeit wegen der thematische Einstieg ihrer Untersuchung "One of the oldest and thickest trees in Bavaria is a 600-year old oak with a circumference of 7.1 m." abgedruckt.

- b. Erklären Sie mit den oben genannten Begriffen, wie genau der Baum Ihrer Vorstellung nach das Holz für seinen Stamm bildet?

Alle Antworten wurden basierend auf dem Prinzip der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2001) kategorisiert. Zur Objektivitätsüberprüfung des Kategoriensystems wurden von 10% der Kategorien die Intra- und Interrater Reliabilität basierend auf Cohen's Kappa analysiert (Cohen, 1960). Die Auswertung erfolgte jeweils unabhängig für beide Fragen. Es ergaben sich jeweils elf Kategorien, die wiederum den zwei Überkategorien "alternativen" und "wissenschaftlichen Vorstellungen" zugeordnet wurden (Frage a: fünf wissenschaftliche und sechs alternative Konzepte; Frage b: sechs wissenschaftliche und fünf alternative Konzepte).

Die Analyse der Wissensprofile und potentieller Determinanten erfolgte mit Hilfe statistischer Auswertungen unter Verwendung des Programms R (*The R Development Core Team 2014*, Version 3.1.1; [www.r-project.org](http://www.r-project.org)). Die Koexistenz von alternativen und wissenschaftlichen Konzepten wurde mittels einer hierarchischen Clusteranalyse (Funktion *hclust*, Paket *stats*) nach Ward überprüft (Norusis, 1993). Anschließend wurde die Clusterstruktur durch eine *k-means* Clusteranalyse (Funktion *k-mean*, Paket *stats*) ermittelt (Anderberg, 1973). Die Validierung des Ansatzes erfolgte basierend auf einer Kontingenztafel (Tibshirani & Walther, 2005). Der potentielle Einfluss von Bildungsstand, Alter und Geschlecht auf die Koexistenz von alternativen und wissenschaftlichen Konzepten wurde durch eine ordinale logistische Regression (Funktion *polr*, Paket *MASS*) untersucht (Agresti, 2002). Als Zielgröße dienten die einzelnen Fragen (a und b) im Modell, sodass mögliche fragenabhängige Unterschiede bezüglich der Anzahl alternativer und wissenschaftlicher Konzepte analysiert werden konnten. Zusätzlich wurden binominale, lineare Modelle (Funktion *glm*, Paket *stats*) berechnet (McCullagh & Nelder, 1989), um den Effekt von Bildungsstand, Alter und Geschlecht auf die Koexistenz von wissenschaftlichen und alternativen Konzepten zu untersuchen. Der Vergleich verschiedener Teilstichproben (Bildungsstand) erfolgte durch kategoriale Mehrfachvergleiche mit automatisch adjustierten p-Werten (Funktion *glht*, Paket *multcomp*; Hothorn, Bretz, und Westfall (2008)).

### Teilstudie B

Teilstudie B basiert auf Daten von 321 Schüler der Jahrgangsstufe 10 (58% männlich, Durchschnittsalter  $M=15,8$  Jahre  $\pm$   $SD=1,4$  Jahre). Die Teilnehmer füllten einmalig einen Fragebogen mit vier etablierten Skalen (GEB, 2-MEV, INS, APP) sowie einer *ad-hoc*

---

<sup>2</sup>Die Verwendung des Begriffs "aufnehmen" im Kontext der Frage "Zählen Sie auf, was der Baum Ihrer Meinung nach tagsüber aufnehmen muss, um so einen hohen Stamm zu bilden?" ist durch den Nebensatz "um so einen hohen Stamm zu bilden" als didaktische Reduktion des Begriffes "Assimilation" zu werten, sodass alle Teilnehmer der Studie zielgruppengerecht angesprochen wurden. Im Englischen hingegen ist der Begriff "assimilation" auch in niedrigeren Jahrgangsstufen gebräuchlich, sodass im Artikel "*Trees Live on Soil and Sunshine!*" - *Coexistence of Scientific and Alternative Conception of Tree Assimilation* der Begriff "assimilation" verwendet wurde, um auch hier der Zielgruppe (Leserschaft) gerecht zu werden.

**Tabelle 2.2:** Zusammensetzung der Teilnehmerstichprobe (Teilstudie A) unterteilt nach Bildungsstand

Bildungsstand	Teilnehmer	männlich [%]	weiblich[%]	Alter $\pm$ SD
Jahrgangsstufe 6	167	47,9	52,1	12,86 $\pm$ 0,98
Jahrgangsstufe 10	103	51,5	48,5	15,60 $\pm$ 0,60
Studenten (NaWi)	306	56,1	43,9	20,59 $\pm$ 2,00
Studenten (andere)	309	35,2	64,8	20,92 $\pm$ 2,60
Gesamt	885	46,2	53,8	18,71 $\pm$ 3,87

NaWi bezeichnet Naturwissenschaftliche Studiengänge (Biologie, Chemie inklusive den entsprechenden Lehramtsstudiengängen), andere bezeichnet alle weiteren Studiengänge.

Wissensskala (30 *Items*) während einer Schulstunde aus, um Wissens-, Einstellungs- und Verhaltensvariablen zu erfassen. Wissen wurde mit Hilfe von *multiple-choice Items* gemessen. Diese umfassten jeweils eine richtige Antwort sowie drei Distraktoren. Mit Hilfe eines *intra-interrater* Ansatzes wurde die Zugehörigkeit der 30 *Items* zu den drei Wissensdomänen (Systemwissen, Handlungswissen und Effektivitätswissen) bestimmt, wodurch jeweils 10 *Items* eine Domäne repräsentierten. Mit Absicht der Entwicklung einer Intervention lag der thematische Schwerpunkt der Fragen auf dem Themenkomplex "Tropischer Regenwald und Klimawandel". Um eine vergleichbare *Item*-Schwierigkeit sicherzustellen wurde ein dichotomes Rasch Modell (QUEST (*standard version*)) verwendet. *Item* Beispiele sind:

- Systemwissen

**In den Tropen regnet es einmal pro...?**

- (a) ...Tag: Es herrscht ein Tageszeitenklima.
- (b) ...Woche: Es herrscht ein Wochenzeitenklima.
- (c) ...Monat: Es herrscht ein Monatszeitenklima.
- (d) ...Jahr: Es herrscht ein Jahreszeitenklima.

- Handlungswissen

**Schokolade mit vegetabilem Fett (Pflanzenfett) sollte man...**

- (a) ...kaufen, das Fett besteht aus einheimischen Sonnenblumen.
- (b) ...kritisch betrachten, das Fett kann auch Palmöl enthalten.
- (c) ...kaufen, sie beinhaltet eine gesunde Mischung aus Pflanzenfetten.
- (d) ...nicht essen, sie enthält ungesättigte Fettsäuren.

- Effektivitätswissen

**Durch den Anbau von Ölpalmen wird...**

- (a) ...Wald gerodet: Gebundenes CO<sub>2</sub> wird frei.
- (b) ...neuer Lebensraum für Tiere geboten, sie vermehren sich: Mehr CO<sub>2</sub> wird frei.

- (c) ...der Baumbestand erhöht: CO<sub>2</sub> wird gebunden.
- (d) ...der Regenwald nicht beeinflusst: Die CO<sub>2</sub>-Bilanz bleibt gleich.

Umweltwertschätzung wurde durch 29 *Items* mit der von Brügger et al. (2011) entwickelten Skala gemessen. Die Erfassung der Naturverbundenheit erfolgte durch das "Inclusion in Nature in One's Self" Konzept (Schultz, 2001). Umweltbewusstes Verhalten wurde mit vier Subskalen ("mobility", "consumerism", "recycling" und "vicarious behaviors toward conservation") der GEB-Skala (Kaiser et al., 2007) ermittelt. Um die Vergleichbarkeit der Einstellungs- und Verhaltensskalen zu gewährleisten, wurden alle Skalen auf jeweils 3 Stufen kollabiert, da 19 der 29 Wertschätzungs*items* diesem Antwortmuster folgen. Unter Benutzung des Programms R (*The R Development Core Team 2015*, Version 3.2.1; [www.r-project.org](http://www.r-project.org)) wurden Pfadmodelle basierend auf einem *partial least squares approach* (Tenenhaus, Vinzi, Chatelin, & Lauro, 2005) berechnet (Funktion *plspm*, Packet *plspm* Version 0.4.7), um die latenten Variablen zu beschreiben. Dabei wurden alle Variablen als potentiell miteinander verbunden definiert und Pfade für alle theoretisch möglichen Kombinationen erstellt. Hierfür wurden alle beobachteten Variablen den entsprechend latenten Variablen zugewiesen. Die Validierung des Modells erfolgte nach Urbach und Ahlemann (2010). Aufgrund fehlender Unidimensionalität wurden einige beobachtete Variablen (Ladungen < 0,4) ausgeschlossen. Die interne Konsistenz wurde durch Dillon Goldstein's Rho bestimmt (Chin, 1998). Die Validität der Diskriminanten wurde basierend auf Kreuzladungen analysiert. Nach Anpassung der Latenten Variablen (Ausschluss von *Items*, die nicht den Gütekriterien entsprachen) wurde das Modell wie zuvor beschrieben berechnet.

### Teilstudie C

Teilstudie C basiert auf Daten von 114 Schülern der Jahrgangsstufe 10 (50,88% männlich, Durchschnittsalter  $M = 16,51$  Jahre  $\pm$   $SD = 1,50$  Jahre). Die Schüler nahmen an einem 1,5 stündigen Lernprogramm zum Thema "Regenwald und Klimawandel" teil. Die Schüler bearbeiteten hierbei eine *e-Learning* Einheit basierend auf dem webseitenbasierten Lernmodul "Bayreuth goes Ecuador", welches verschiedene Lernressourcen wie ein Video, eine interaktive Animation, einen CO<sub>2</sub>-Fußabdruckrechner oder eine Datenbank mit authentischen Klimadaten verwendet. Das Lernmodul ist in Abschnitt 2.2.2 näher beschrieben und kann unter [www.green-education.eu](http://www.green-education.eu) abgerufen werden. Zur Anleitung und Ergebnissicherung der Lerneinheit diente ein digitales Arbeitsheft. Um die Qualität des Lernmoduls zu untersuchen, wurden die Schüler aufgefordert basierend auf Schulnoten (1 = "sehr gut" bis 6 = "ungenügend") zu bewerten, wie gut ihnen die verschiedenen Aufgaben gefallen haben. Zudem wurde der *cognitive load* (zwischen 1="fiel mir leicht" bis 9="fiel mir extrem schwer" mit 5 als Ankerpunkt = "genau so schwer wie der "normale" Biologieunterricht") der Schüler abgefragt, um die kognitive Belastung durch die *e-Learning* Einheit zu ermitteln. 82 Schüler vergaben Noten für die Aufgaben und gaben Auskunft

über ihre geistige Belastung während der Bearbeitung. Um eine mögliche Abhängigkeit der Darbietungsform (*e-Learning*) auf den Lernerfolg zu untersuchen wurde die *Computer User Self-Efficacy* mithilfe der CUSE-Skala (Cassidy & Eachus, 2002) erfasst. Hierbei bewerteten die Schüler Aussagen zur Computernutzung (Probleme, Ängste, Fähigkeiten) auf einer Skala von 1 (starke Ablehnung) bis 6 (starke Zustimmung). Der Lernerfolg (Wissenszuwachs) wurde mithilfe eines Vor-Nachtest-Designs untersucht. Hierzu beantworteten die Schüler 30 Wissensfragen zum Thema tropischer Regenwald und Klimawandel. Alle 114 Schüler beantworteten die Wissensfragen sowie die CUSE-Skala und bearbeiteten das digitale Arbeitsheft. Zwei Aufgaben wurden exemplarisch untersucht, um zu überprüfen, ob die Schüler mit Hilfe des Lernmoduls die gesetzten Lernziele erfüllen. Die erste Aufgabe bestand im schraffieren von Regionen mit tropischen Regenwäldern auf einer Weltkarte, während die zweite Aufgabe die Analyse authentischer Klimadaten sowie die Hypothesenbildung zu Gründen und Folgen eines möglichen Temperaturtrends umfasste. Zuletzt beschriebene Aufgabe wurde basierend auf dem Prinzip der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2001) analysiert, wohingegen die restlichen Daten statistisch mit SPSS Version 22 (IBM Corp. 2013) ausgewertet wurden. Hierbei wurden nicht-parametrische Tests aufgrund der nicht-normal-verteilten Daten durchgeführt. Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden basierend auf Mann-Witney U und Wilcoxon-Tests untersucht. Mögliche Korrelationen zwischen den Bewertungen der Aufgaben, der geistigen Anstrengung sowie der *Computer User Self-Efficacy* wurden mit Hilfe von Spearman-Korrelationen betrachtet.

### Teilstudie D

Teilstudie D basiert auf Daten von 255 Schülern der Jahrgangsstufe 10 (56% männlich, Durchschnittsalter  $M = 15,8$  Jahre  $\pm$  SD = 1,5 Jahre), welche an einem 3,5 stündigen Lernprogramm zum Thema "Regenwald und Klimawandel" teilnahmen bzw. einer Test-Retest-Gruppe zuzuordnen sind. *Environmental Literacy* relevante Variablen Wissen, Umwelteinstellungen (Umweltschutz- und Ausnutzungspräferenz, sowie Naturverbundenheit) und umweltbewusstes Verhalten wurden in einem quasi-experimentellen Design bestehend aus Vor-, Nach- und Behaltenstest untersucht. Die Schüler beantworteten hierfür Papierfragebögen, welche drei etablierte Skalen (GEB, 2-MEV, INS) und 13 Wissensitems (basierend auf Teilstudie B, Beispielitems siehe Abschnitt 2.2.1) beinhalteten. Diese Fragebögen wurden entweder im Schulunterricht oder nach einer Intervention ausgefüllt (Details siehe Tabelle 2.3). Umweltbewusstes Verhalten bezog sich auf die interventionsrelevanten GEB-Subskalen "Consumerism" und "Vicarious behavior towards conservation". Tabelle 2.3 zeigt das Studiendesign und den Einsatz der Skalen zu den verschiedenen Testzeitpunkten. Zwei Wochen vor der Intervention wurde der Vortest (T0) von allen Schülern in einer Unterrichtsstunde ausgefüllt. Die in Abschnitt 2.2.2 beschriebene Intervention wurde im ökologisch botanischen Garten der Universität Bayreuth durchgeführt. Direkt nach der Intervention füllten die Schüler den Nachtest (T1) aus. Die Test-Retest-Gruppe beantwortete diesen Fragebogen ohne Teilnahme an der eigentlichen Intervention. Sechs bis acht Wochen

**Tabelle 2.3:** Studiendesign Teilstudie D

Referenzpunkt	Zeitvorgabe	Teilnehmer	eingesetzte Skalen
T0	zwei Wochen vor Intervention	alle Schüler	GEB, 2-MEV, INS, ATT, KN
Intervention	3,5 Stunden Lernprogramm	Interventionsgruppe	keine Messung
T1	direkt nach der Intervention	alle Schüler	KN,INS
T2	6-8 Wochen nach der Intervention	alle Schüler	GEB, KN, INS

später wurde von allen Schülern der Behaltenstest ausgefüllt (T2). Die Test-Retest-Gruppe umfasste 28 Schüler (Durchschnittsalter = 16,2 Jahre  $\pm$  SD = 0,6 Jahre) und diente der Überprüfung, dass die Bearbeitung der Fragebögen keinen Einfluss auf die untersuchten Variablen hat (Scharfenberg, Bogner, & Klautke, 2006).

Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 3.1.2, [www.r-project.org](http://www.r-project.org), *The R Foundation for Statistical Computing*, 2014). Die Wissensakquisition, die potentielle Entwicklung der Naturverbundenheit sowie ein Vergleich zwischen dem umweltbewussten Verhalten vor und nach der Intervention wurden basierend auf linearen gemischten Effektmodellen untersucht. Zuvor wurden die fünf- bzw. siebenstufigen Skalen zu jeweils dreistufigen Skalen kollabiert um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Alle im nachfolgenden beschriebenen Modelle wurden mit Hilfe der Funktion *lmer* (Paket *lme4*) nach (Bolker et al., 2009), sowie der Funktion *glht* (Paket *multcomp*) für einen kategorialen Mehrfachvergleich nach Hothorn et al. (2008) für die drei Testzeitpunkte berechnet. Die resultierenden p-Werte wurden durch Bonferroni-Korrektur für mehrfaches Testen entsprechend angepasst (Benjamini & Hochberg, 1995). Zur Untersuchung der Wissensakquisition wurden der Mittelwert des Wissens (einzelner Schüler) als Zielvariable und der Testzeitpunkt (T0-T2) als fixe Effekte definiert, während die Wissensdomäne, Schüler-ID und Alter als zufällige Effekte mit ins Modell einfließen. Zur Betrachtung der Wissensdomäne wurde der Mittelwert des Wissens (einzelner Schüler) als Zielvariable und die Wissensdomänen sowie Testzeitpunkt (T0-T2) als fixe Effekte definiert, während Schüler-ID und Alter als zufällige Effekte mit ins Modell einfließen. Entsprechend wurde mit der Naturverbundenheit und dem umweltbewussten Verhalten verfahren. Der INS-Wert bzw. der GEB-Mittelwert (einzelner Schüler) dienten als Zielvariable während die Testzeitpunkte (T0-T2) bzw. (T0 und T2) als fixe Effekte und Schüler-ID und Alter als zufällige Effekte definiert wurden.

### 2.2.2 Das Lernmodul Regenwald im Klimawandel

Die Konzipierung der Intervention entspricht den von Davies, Sanders, und Amos (2015) beschriebenen Prinzipien. Hierbei repräsentieren tropische Regenwälder ein **Interesse**

**weckendes Ökosystem** und Klimawandel ein *socio-scientific* Thema, welches **kontrastierende Lernerfahrungen** bietet. Die implementierten Lernressourcen folgten einem **forschend-entdeckenden Ansatz** in einer **angeleiteten Lernumgebung**, welche etwas Freiraum für die **Autonomie der Schüler** ließ. Durch diesen Rahmen sollten Schüler für ihren persönlichen Einfluss auf das Klima sowie Möglichkeiten des Klima- und Naturschutzes und den Wert der Natur sensibilisiert werden, um so ihre *Environmental Literacy* zu fördern. Ein besonderer Wert wurde auf die authentische Lernumgebung gelegt, da sich eigene Erfahrungen in authentischen Lernumgebungen nach Cheng und Monroe (2012) auf umweltbewusste Einstellungen auswirken können, die wiederum zu persönlichem Engagement im späteren Leben führen können. Das Lernmodul wurde als **Beitrag zur UN-Dekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung"** von der Deutschen UNESCO-Kommission e.V. zertifiziert.

### Ablauf des Lernmoduls

Aufgrund der logistischen Limitierung von Primärerfahrungen in tropischen Regenwäldern für den Durchschnittsschüler diente ein botanischer Garten als "Fenster zum tropischen Regenwald", wie bereits von Sellmann und Bogner (2012b) (für die botanische Welt im Allgemeinen) vorgeschlagen wurde. Hierdurch konnten die Schüler aus erster Hand tropische Wärme, Luftfeuchtigkeit, Gerüche und nicht zuletzt eine authentische Flora erleben. Nach einer kurzen Einführung bezüglich des allgemeinen Ablaufs, der Lernmethode des Stationenlernens sowie organisatorischen Aspekten bearbeiteten die Schüler die Lernstationen eigenständig in Gruppen von vier bis fünf Schülern, unterstützt durch ein Arbeitsheft. Die einzelnen Stationen beinhalteten eine Bandbreite verschiedener *hands-on* Aktivitäten, welche von grundlegenden Messungen abiotischer Faktoren bis zur Ausarbeitung eines anspruchsvolleren Experiments in ihrer Komplexität variierten. Die Schüler benötigten in der Regel 2,5 h, um den Lernzirkel im botanischen Garten zu bearbeiten. Anschließend wechselte die Lerngruppe in einen *CIP-Pool* und bearbeitete eine Stunde lang das *e-Learning* Modul. Dieses nutzte eine interaktive Simulation des Stockwerksbaus, authentische Klimadaten aus Ecuador sowie einen CO<sub>2</sub>-Fußabdruckrechner, um die Primärerfahrungen der *hands-on* Stationen zu ergänzen. Die Schüler bearbeiteten diese Einheit in Zweiergruppen und wurden durch die Lerneinheit mit Hilfe von drei verschiedene Aufgaben, welche jeweils durch fünf Leitfragen untergliedert wurden, durch die Lerneinheit geführt. Diese Fragen konnten direkt auf der Webseite oder im digitalen Arbeitsheft (nur in Ausnahmefällen, wenn die Schüler keine Email-Adresse angeben wollten)<sup>2</sup> beantwortet werden.

---

<sup>2</sup>Es stand den Schülern frei, die Möglichkeit der Ergebnissicherung per Email zu wählen oder abzulehnen. In der Regel wurde diese Möglichkeit jedoch dem digitalen Arbeitsheft vorgezogen.



### **Beschreibung der einzelnen Stationen**

Die Lerninhalte der einzelnen Stationen begründen sich neben der Relevanz für den Themenkomplex "Regenwald im Klimawandel" mit dem Lehrplanbezug der gymnasialen Jahrgangsstufe 10 (ISB (2009a), ISB (2009b)) sowie der Rolle einiger Pflanzen als *marque plants* (Wandersee & Schussler, 2001), welche als besonders geeignet angesehen werden, Schüler für Pflanzen zu begeistern und so dem Phänomen der *plant blindness* entgegenzuwirken. Hierunter fallen beispielsweise Pflanzen, welche besonders auffällige morphologische Anpassungen an ihre Umwelt zeigen oder mit Tieren in einer biotischen Interaktion stehen (Nyberg & Sanders, 2013). Die einzelnen Stationen hatten das übergeordnete Ziel die Wissensakquise, positive Umwelteinstellungen und umweltbewusstes Verhalten und somit *Environmental Literacy* zu fördern. Die einzelnen Lernziele, der jeweilige Lehrplanbezug, die einzelnen Aktivitäten, die Lernform sowie die angestrebten Variablen sind in Tabelle 2.4 dargestellt.

**Tabelle 2.4:** Interventionsdesign: Aufgelistet sind die einzelnen Lernziele, der jeweilige Lehrplanbezug, die einzelnen Aktivitäten, die Lernform sowie die angestrebten *Environmental Literacy*-Variablen; mit \* gekennzeichnete Stationen waren fakultativ und konnten von Schülern bearbeitet werden, wenn sie die restlichen Stationen bearbeitet hatten.

Station	Lernziele Die Schüler sollen...	Lehrplan- bezug	Aktivitäten	Lernform	angesprochene Variablen
Station 1: Leben im Regenwald - Umweltbedingungen	(I) ... Umweltvariablen aufnehmen und grafisch darstel- -len. (II) ... abiotische Faktoren benennen. (III) ... die Bedeutung abiotischer Faktoren für das pflanzliche Leben benennen. (IV) ... den Zusammenhang zwischen Photosynthese und Holzbildung erklären.	Geo 10.6 B 10.3 B 10.3	Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Lichtstärke messen, Diagramme zeichnen, biotische und abiotische Faktoren klassifizieren.	<i>hands-on</i>	SYS, INS, PRES
Station 2: Überleben im Regenwald - Anpassungen	(I) ... Anpassungen ausgewählter Pflanzen an abioti- sche und biotische Faktoren untersuchen. (II) ... Anpassungen ausgewählter Pflanzen an abioti- sche und biotische Faktoren darstellen. (III) ... biotische Interaktionen klassifizieren.	B 10.3 B 10.3 B 10.3	Kleine Experimente (angeleiteter IBSE Ansatz) planen und durchführen, morphologische Anpassungen von <i>Guzmania</i> , <i>Myrmecodia</i> und <i>Nepenthes</i> untersuchen und interpretieren.	<i>hands-on</i>	SYS, INS, PRES
Station 3: Regenwald (I) ... des täglichen Bedarfs	Alltagsprodukte in Bezug auf ihre Herkunft un- tersuchen. (II) ... Kriterien für die Vergabe ausgewählter Produkt- Label benennen. (III) ... gängige Produkt-Label bewerten. (IV) ... das eigene Konsumverhalten reflektieren und die Auswirkungen auf die Abholzung des Regenwalds analysieren.	Geo 10.5, B 10.3 Geo 10.5 Geo 10.5 Geo 10.5, B 10.3	Alltagsprodukte nach Herkunft ("tropisch" oder "nicht tropisch") sortieren. Kategorisierung überprüfen, die Rolle von Palmöl als populärer Inhaltsstoff und dessen Auswirkungen auf den tropischen Regenwald kennenlernen, Gütekriterien gängiger Label analysieren, persönliches Konsumverhalten reflektieren.	<i>hands-on</i>	ACT, EFF, INS, PRES, GEB
Station 4: Leben im Wandel	(I) ... ein Experiment zur CO <sub>2</sub> -Speicher Funktion des Regenwalds planen, durchführen und protokollieren. (II) ... die Bedeutung des tropischen Regenwalds als CO <sub>2</sub> -Speicher abschätzen. (III) ... Hypothesen über die Folgen der Regenwald- zerstörung aufstellen. (IV) ... Gründe für die hohe Biodiversität in den Tro- pen beschreiben.	B10.3 B 10.3, Geo 10.5 B 10.3, Geo 10.5 B10.3	Planung und Durchführung eines Experiments (angeleiteter IBSE Ansatz) zur Modellierung der Rolle der tropischen Regenwälder als CO <sub>2</sub> -Speicher, über die Folgen der Abholzung tropischer Regenwälder reflektieren.	<i>hands-on</i>	SYS, ACT, EFF, INS, PRES

## 2.2. MATERIAL UND METHODEN

Station	Lernziele Die Schüler sollen...	Lehrplan- bezug	Aktivitäten	Lernform	angesprochene Variablen
Station 5: Regenwald von Morgen	(I) ...berechnen, wann es theoretisch keinen Regenwald mehr gibt. (II) ...Konsequenzen des Verlusts tropischer Regenwälder benennen. (III) ...Gründe für den Schutz tropischer Regenwälder zusammenfassen. (IV) ...mögliche Handlungen ableiten, die dem Schutz des Regenwalds dienen.	Geo 10.5 B 10.3, Geo 10.5 B 10.3, Geo 10.5 Geo 10.5	Regenwaldzerstörung (basierend auf globalem Konsumverhalten und deutschem Fleischverbrauch) berechnen, Folgen der Regenwaldzerstörung kennenlernen, über mögliche Handlungen zum Regenwaldschutz nachdenken, Werbespot drehen, der für den Erhalt des Regenwalds wirbt.	<i>hands-on</i>	SYS, ACT, EFF, INS, PRES
Zusatz-Station: Spiel um den Regenwald*	(I) ...Kriterien des fairen Handels benennen. (II) ...den Zusammenhang zwischen fair gehandelter Ware und Regenwaldschutz ableiten. (III) ...die Dimensionen der Nachhaltigkeit auf das Planspiel anwenden.	Geo 10.5 B 10.3, Geo 10.5 Geo 10.5	Sich in die Rollen eines Kleinbauers, der seinen Kindern Schulbildung bieten möchte, einer verschuldeten Kleinbäuerin, deren Kinder auf Plantagen arbeiten, eines profitgierigen Großgrundbesitzers und einer fairen Handelsorganisation einfühlend; über Nachhaltigkeit und Konsumverhalten reflektieren.	<i>hands-on</i> , Planspiel	ACT, EFF, INS, PRES, GEB
E1: Hoch hinaus - Stockwerkbau im Regenwald	(I) ...die geographische Lage der tropischen Regenwälder darstellen. (II) ...die klimatischen Bedingungen für das Wachstum von tropischen Regenwald benennen. (III) ...Tendenzen ausgewählter abiotischer Faktoren im Stockwerkbau analysieren. (IV) ...Anpassungen einer ausgewählter Pflanzen beschreiben.	Geo 10.5 B 10.3, Geo 10.5 B10.3 B10.3	Den tropischen Stockwerkbau tags und nachts erkunden, abiotischen Umweltfaktoren auf mögliche Trends hin untersuchen, die geographische Lage der tropischen Regenwälder beschreiben und skizzieren*	<i>e-Learning</i> , interaktive Simulation	SYS
E2: Fenster nach Ecuador	(I) ...authentische Klimadaten auswerten. (II) ...Hypothesen über die Ursachen und Konsequenzen der Klimaänderungen aufstellen.	Geo 10.5 Geo 10.5, B 10.3	Video über eine Forschungsstation in Ecuador anschauen, den Weg der Wissenschaftler von der Station zu den Messpunkten der Klimadaten verfolgen; Auswerten von drei Originaldatensätzen in Bezug auf Temperatur und Luftfeuchtigkeit, über Ursachen und Folgen von Klimawandel reflektieren.	<i>e-Learning</i> , Video, Daten-Plotting Applikation	SYS

Station	Lernziele Die Schüler sollen...	Lehrplan- bezug	Aktivitäten	Lernform	angesprochene Variablen
E3: Klimawandel - Was können wir tun?	(I) ...ihren individuellen CO <sub>2</sub> -Fußabdruck analysieren. (II) ...Möglichkeiten zur Reduktion ihres CO <sub>2</sub> -Fußabdrucks benennen. (III) ...den politischen und ökonomischen Einfluss auf die CO <sub>2</sub> -Bilanz abschätzen. (IV) ...einen Spot zur globalen Ungerechtigkeit interpretieren.*	Geo 10.5 Geo 10.5 Geo 10.5 Geo 10.5	Eigenen CO <sub>2</sub> -Fußabdruck berechnen, den eigenen Fußabdruck mit dem eines Kenyaners vergleichen, über das Klimaziel für 2050 reflektieren, über globale Gerechtigkeit reflektieren*	<i>e-learning</i> , CO <sub>2</sub> -Fußabdruck-rechner	SYS, ACT, EFF, PRES, GEB
Zusatz- drang*	(1) ...individuelle Handlungsoptionen beurteilen.	Geo 10.5	Tägliche Handlungen, Auswirkungen und Alternativen aufdecken, über persönliche Handlungsoptionen zum Regenwald- und Klimaschutz nachdenken.	<i>e-learning</i> , Memory	SYS, ACT, EFF, PRES, GEB

## 2.3 Ergebnisse und Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es *Environmental Literacy* bei Schülern durch eine Intervention zu fördern. Hierfür wurden zunächst Zusammenhänge zwischen potentiell relevanten Variablen, Schülervorstellungen sowie der Einfluss von *e-Learning* auf den Lernerfolg von Schülern untersucht. Darauf basierend wurde eine entsprechende *Environmental Literacy*-fördernde Intervention entwickelt, implementiert und unter Betrachtung des Wissenszuwachs, der Naturverbundenheit und umweltbewussten Verhaltens evaluiert. Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der Teilstudien dargestellt und diskutiert.

### 2.3.1 Teilstudie A

In Teilstudie A konnte gezeigt werden, dass wissenschaftliche und alternative Konzepte im Themenkomplex Photosynthese und Holzbildung bei Schülern und Studenten auftreten. Alter und Bildungshintergrund erwiesen sich hierbei als einflussreiche Determinanten, welche zu einer geringeren Anzahl genannter alternativer Konzepte und einem stärker integrierten Wissensprofil mit steigendem Alter und Bildungsstand führten. Ähnliche Ergebnisse präsentierten Liu und Lesniak (2006), die in ihrer Studie über Vorstellungen zur chemischen Zusammensetzungen verschiedener Substanzen zeigten, dass Schülervorstellungen mit ansteigendem Bildungshintergrund (Jahrgangsstufe 1 bis 10) von der makroskopischen zur mikroskopischen Ebene zunehmen und somit das Wissen immer mehr integriert wird.

Für beide Fragen konnte ein Anstieg in Bezug auf die Nennung wissenschaftlicher Konzepte parallel zum steigenden Alter der Teilnehmer gezeigt werden. Ebenso konnte dieser Anstieg mit steigenden Bildungshintergrund zwischen Schülern und Studenten gezeigt werden. Dies entspricht den Erkenntnissen von Bledsoe (2013). Allerdings konnten keine Unterschiede in der Nennung wissenschaftlicher Konzepte zwischen den beiden studentischen Populationen in Frage a sowie kein Unterschied zwischen beiden Schülerpopulationen für Frage b gefunden werden. Ein Grund hierfür könnte im Phänomen der *plant blindness* liegen, da Schussler und Olzak (2008) zeigten, dass sogar Collegestudenten, die Botanik als Schwerpunkt gewählt hatten, Pflanzen weniger Aufmerksamkeit schenken und sich darin nicht von Studenten anderer Fachrichtungen unterscheiden. Bezüglich der zwei Schülerpopulationen ist es möglich, dass die Schüler der Jahrgangsstufe 10 nicht auf das bereits in Jahrgangsstufe 6 unterrichtete Wissen zurückgreifen, da sie dieses "nur" zum Zweck einer Klassenarbeit gelernt haben, wie Finley, Stewart, und Yaroch (1982) es beschrieben haben. Ekici et al. (2007) erläuterten, dass Schüler sich die chemische Photosynthese Gleichung ohne Verständnis der biologischen Abläufe einprägen. Dies spiegelt sich in den in Frage b genannten Konzepten und entsprechenden Vorstellungen wider.

Die Ergebnisse der Clusteranalyse zeigten, dass den Teilnehmern bewusst ist, dass Sonnenlicht eine Rolle für den Prozess der Holzbildung spielt, jedoch das Konzept der Aufnahme von Nährstoffen<sup>3</sup> und Erde parallel dazu existiert und somit das Prinzip der Autotrophie unverstanden bleibt. Hierbei ist das alternative Konzept "Nahrung" seit den 1980er Jahren bekannt (Haslam & Treagust, 1987) und existiert unverändert weiter. Hierin spiegelt sich möglicherweise eine anthropomorphe Vorstellung wider, durch welche menschliche Eigenschaften auf andere Lebewesen übertragen werden. Da Menschen Nahrung aufnehmen müssen um zu wachsen, liegt es vor allem für jüngere Schüler nahe, dies auch auf Pflanzen zu übertragen (Bledsoe, 2013). Das korrekte wissenschaftliche Konzept Sauerstoff fällt jedoch in Frage a zusammen mit alternativen Konzepten, was darauf hinwies, dass vielen Teilnehmern nicht bewusst ist, dass Pflanzen atmen.

Das Geschlecht der Teilnehmer wurde nicht als Determinante für das Vorhandensein von alternativen oder wissenschaftlichen Vorstellungen innerhalb aller Ausbildungsstufen erkannt. Eine Ausnahme hierzu bildet die Summe der aufgezählten alternativen Konzepte in Frage b. Weibliche Naturwissenschaftsstudenten nannten hierbei mehr alternative Vorstellungen. Dies kann in einem geschlechtsspezifischen Kommunikationsverhalten begründet sein, welches sich beispielsweise in Form, Inhalt und Funktion unterscheidet (Haas, 1979). Hierbei verwenden Frauen häufig mehr Worte und ausführlichere Beschreibungen, während Männer eher kurze Erklärungen abgeben, um ihre Meinung zu äußern (Holmes, 1995).

Teilstudie A zeigte drei Schwerpunkte auf, die entsprechend in der Intervention berücksichtigt werden mussten. Die prominente alternative Vorstellung der Aufnahme von Erde, das fehlende Verständnis des Zusammenhangs zwischen Photosynthese und Holzbildung sowie die vermutlich unverstandene pflanzliche Atmung. Entsprechend wurden diese Aspekte in der Intervention besonders integriert. Die Unabhängigkeit von Erde wurde hierbei mit Hilfe von Kresse auf Styroporgranulat gezeigt. Mit Hilfe eines aufklappbaren Baumstammes, in dem die Schüler mit Kärtchen die Photosynthese Gleichung im oberen Teil legten, wurde Glucose als Monomer der Cellulose im unteren Teil des Baumstammes präsentiert sowie der Prozess der Holzbildung erläutert, um so ein tiefergehendes Verständnis für den komplexen Ablauf der Holzbildung zu fördern. Die pflanzliche Atmung wurde in einem Informationsblatt illustriert.

---

<sup>3</sup>"Nährstoffe" werden hier, basierend auf den Teilnehmeraussagen, als Kohlen-Wasserstoffverbindungen, Fette und Proteine definiert (vgl. S.58). Allgemein umfasst der Begriff "Nährstoff" bzw. "nutrient" die verschiedenen Stoffklassen "a) Kohlenhydrate (Saccharide), b) Eiweiße (Proteine), c) Fette (Lipide), d) Nährsalze, einschließlich Spurenelemente, e) Vitamine, f) Wasser" (Klein, 2008, S.666). Für autotrophe Pflanzen sind im Themenkomplex Assimilation lediglich die Kategorien d) Nährsalze und f) Wasser relevant, welche als separate Kategorien von den Teilnehmern genannt wurden, da für Schüler, basierend auf den von ihnen verwendeten Schulbüchern, Nährstoffe vornehmlich im Kontext der heterotrophen Ernährung bedeutsam sind und lediglich Kohlenhydrate, Fette und Proteine umfassen (vgl. Kiene, Kirchhof, und Walter-von Lüderitz (2008); Manger, Manger, Moßner, und Staudinger (2008)). Auch die teilnehmenden Studierenden differenzierten analog zum Gebrauch der Termini im Strasburger (Kadereit, Kost, Körner, & Sonnewald, 2014) zwischen Wasser und Nährsalzen, welche sie separat zum Begriff "Nährstoffe" aufführten, sodass die Reduzierung des Begriffs "Nährstoffe" auf die Unterkategorien "Kohlen-Wasserstoffverbindungen, Fette und Proteine" die Schüler- bzw. Studentenvorstellungen widerspiegelt.

### 2.3.2 Teilstudie B

Teilstudie B konnte die Beziehungen zwischen den Umwelteinstellungen *Preservation*, *Utilisation* und *Inclusion of Nature in One's Self* sowie dem etablierten Umweltkompetenzmodell von Kaiser et al. (2008) zeigen. Auch die gekürzten Skalen reichten aus, um das erweiterte Modell zu berechnen. Dieses weist 13 signifikante Beziehungen zwischen den latenten Variablen auf. Handlungswissen und Effektivitätswissen konnten als umwelteinstellungs-beeinflussende Variablen identifiziert werden. Handlungswissen wirkt sich auf *Preservation* und *Utilization* (mittlerer Effekt) aus, während Effektivitätswissen in Beziehung mit Naturverbundenheit steht (mittlerer Effekt). Wissen ist jedoch nicht direkt mit Verhalten verknüpft im Gegensatz zu den Umwelteinstellungsvariablen. *Preservation* und *Utilisation* stellen sich als verbindende Variables heraus, welche Handlungswissen, Verhalten und Naturwertschätzung miteinander in Beziehung setzen. *Preservation* zeigt hierbei jeweils einen positiven Effekt und *Utilisation* jeweils einen negativen Effekt auf Naturwertschätzung bzw. Handlungswissen. In ähnlicher Weise verbindet die Naturverbundenheit die Wissens- und Einstellungsvariablen indem es mit Effektivitätswissen und Naturwertschätzung in Beziehung steht. Letztere steht mit allen Einstellungsvariablen und umweltbewusstem Verhalten in Beziehung. Die Erweiterung des Modells resultierte in einigen Unterschieden.

Das in der Teilstudie berechnete *Environmental Literacy*-Modell zeigt im Gegensatz zu Kaiser et al. (2008) keine Pfade zwischen Naturwertschätzung und Effektivitätswissen sowie Systemwissen. Ebenso wurde kein Pfad zwischen Handlungswissen und umweltbewussten Verhalten ermittelt, sodass im Gegensatz zum ursprünglichen Modell Verhalten nicht in direkter Beziehung zu Wissen steht. Dennoch wurden die anderen Pfade des ursprünglichen Modells bestätigt bzw. zeigten Ähnlichkeiten zu Kaiser et al. (2008). Die Abweichungen sind möglicherweise auf die neuen Variablen zurückzuführen, ein weiterer ausschlaggebender Grund ist vermutlich jedoch die Verwendung eines individuellen *Wissensitemsets*. Expertenrating allein reicht nicht aus, um Wissensitems den Wissensdomänen zuzuordnen: Die psychometrische Kalibrierung mittels Rasch Modell sowie das *structural equation model* führten zum Ausschluss von 50-60% der Wissensitems, da sie statistisch nicht eindeutig zuzuordnen waren. Entsprechend ist es wichtig solche psychometrischen Kalibrierungen vor dem Einsatz der Items in Interventionen durchzuführen.

Das Thema "Regenwald und Klimawandel" bietet vor allem im Bereich des Handlungswissens und Effektivitätswissens einen persönlichen Bezug für Schüler, der für Systemwissen auch vorhanden, jedoch nicht offensichtlich ist und dementsprechenden Unterricht benötigt, um diesen aufzuzeigen. Entsprechend könnten sich hierdurch die fehlende Beziehung zwischen Systemwissen und Umwelteinstellungen erklären. Dass Wissen keinen direkten Einfluss auf Verhalten hat, steht im Einklang mit Gifford (2014), welcher Wissensak-

quisition als keine Garantie für umweltbewusstes Verhalten ansieht. Der Einfluss der Einstellungsvariablen auf umweltbewusstes Verhalten bestätigt Aussagen von Brick und Lewis (2014), welche Umwelteinstellungen als Schlüssel zur Vorhersage von Verhalten beschreiben. Durch die Förderung der Naturverbundenheit wird nach dem berechneten *Environmental Literacy* Modell Umweltwertschätzung beeinflusst, welche sich wiederum auf *Preservation*, *Utilization* und Verhalten auswirkt. Entsprechend sollten positive Umwelteinstellungen beispielsweise durch positive Primärerfahrungen von Kindern und Jugendlichen in natürlichen Umgebungen gefördert werden (Cheng & Monroe, 2012), um nachhaltiges Verhalten im späteren Erwachsensein zu unterstützen. Auch Corral-Verdugo (2002) schlägt die Förderung von Kompetenzen im Bereich des Umweltbewusstseins als Zielsetzung für jegliche Umweltbildungsprojekte vor.

Teilstudie B zeigte verschiedene Variablen auf, die in der Intervention berücksichtigt werden mussten, um umweltbewusstes Verhalten zu fördern. Handlungs- und Effektivitätswissen zeigten sich als vielversprechende Variablen, um Verhalten indirekt über die Förderung von Umwelteinstellungen zu beeinflussen, da lediglich eine kurze Intervention in Planung war. Nichtsdestotrotz wurden viele affektive Komponenten in die Intervention integriert, da gegebenenfalls das Zusammenspiel aller Variablen einen potentiellen Einfluss auf die entsprechenden Umwelteinstellungen und das Verhalten haben könnten.

### 2.3.3 Teilstudie C

Teilstudie C zeigte, dass Schüler der Jahrgangsstufe 10 die *e-Learning*- Einheit allgemein positiv bewerten. Wendet man die von Parker (2004) beschriebenen Qualitätskriterien an, zeigt sich, dass die *learning source* (entspricht dem Lernmodul *Bayreuth goes Ecuador*), basierend auf Schulnoten, als gut (Mittelwert zwischen 2,46 und 2,74 für die drei Aufgaben) bewertet wurde. Die Qualität des *learning processes* zeigt sich durch den *cognitive load*, welcher im Mittel zwischen drei und vier entsprechend unter der geistigen Anstrengung einer *normalen* Biologieunterrichtsstunde lag. Die Adäquanz des *learning context* kann durch die Betrachtung der CUSE-Werte erfolgen, welche zwischen 3 und 6 (Mittelwert =  $4,44 \pm SD = 0,704$ ) lagen und auf eine selbstbewusste Gruppe hinweist, die mit der Nutzung von Computern vertraut ist.

Dies steht im Einklang mit der Datenerhebung des Statistischen Bundesamtes<sup>4</sup>, die zeigt, dass 85% der deutschen Haushalte einen Computer besitzen und 93% der Jugendlichen und Erwachsenen zwischen 16-24 Jahren das Internet täglich nutzen und dementsprechend mit dem Umgang dieses Mediums vertraut sind. Entsprechend konnte das Computer-Selbstkonzept auch nicht als beeinflussende Variable, weder für die vergebenen Noten noch

<sup>4</sup>[https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsguetern/Tabellen/Infotechnik\\_D.html](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsguetern/Tabellen/Infotechnik_D.html); Zugriff: Dezember 2014



für die kognitive Belastung, identifiziert werden.

Im Gegensatz dazu wurde bei der Vergabe der Noten und der Angabe des *cognitive loads* jeweils das gesamte Skalenspektrum genutzt. Diese variierende Wahrnehmung entspricht den Ergebnissen von Cox (2013), die Schülereinstellungen zu *e-Learning* als erfahrungsabhängig beschreibt, wodurch individuelle Einstellungen und daraus resultierende Wahrnehmungen bei den Teilnehmern zu erklären sind. Zudem zeigt diese Teilstudie, dass die Bewertung der einzelnen Aufgaben mit der Bewertung der ersten Aufgabe korrelieren. Wenn die Schüler die erste Aufgabe schlecht bewerteten, so bewerteten sie auch die darauffolgenden Aufgaben schlechter. Dies könnte man als Motivationsverlust bzw. einem generellen Problem mit der Darbietungsform der Lerninhalte interpretieren, jedoch sollten hierzu qualitative Daten erhoben werden, um diese Interpretation abzusichern, wenngleich auch die Zusammenhänge des *cognitiv loads* eine ähnliche Tendenz zeigen.

Mit zunehmendem *cognitive load* wurden die Aufgaben schlechter bewertet. Auch hier standen die Beurteilung der ersten Aufgabe mit den darauffolgenden Aufgaben im Zusammenhang. Wurde bereits in der ersten Aufgabe eine höhere geistige Belastung empfunden, wurde auch für die nachfolgenden Aufgaben ein höherer *cognitive load* angegeben. Entsprechend muss die Präsentation (Webseite, digitales Arbeitsheft) der Lerninhalte weiter untersucht werden. Da die Webseite eine Vielzahl verschiedener interaktiver Informationsquellen aufweist, ist der bei einigen Schülern auftretende erhöhte *cognitive load* erklärbar durch die Erkenntnisse von Van Merriënboer und Ayres (2005), die schlussfolgerten, dass die Interaktivität möglicherweise zu hoch ist, um effektives Lernen zu erzielen. Betrachtet man jedoch die Teilnehmer als Gesamtgruppe, kann das vorliegende *e-Learning* Modul als qualitativ angemessen für den Einsatz in der Zielgruppe beschrieben werden, wenn auf individuelle Schwierigkeiten eingegangen wird. Diese Ansicht wird durch den erzielten Lernerfolg der Schüler unterstützt.

Diese Teilstudie zeigte, dass die Schüler unabhängig von Alter, Geschlecht oder Computer Selbstkonzept einen Wissenszuwachs erzielen konnten. Es wurden im Nachtest sowohl mehr Wissensfragen richtig beantwortet als auch mehr richtige Regionen auf der Weltkarte schraffiert als im Vortest, sodass die entwickelte *e-Learning* Einheit für eine breite Zielgruppe geeignet ist. Wissenszuwachs durch die Nutzung von *e-Learning* Ressourcen konnte ebenfalls von vorherigen Studien (z.B. Morgíl, Arda, Seçken, Yavuz, und Oskay (2004)) gezeigt werden.

Teilstudie C zeigte, dass das *e-Learning* Modul prinzipiell für den Einsatz in der Interventionsstudie geeignet ist. Jedoch sollten individuelle Schwierigkeiten mit der Darbietungsform (Webseite, digitales Arbeitsheft) berücksichtigt werden, um allen Schülern gerecht zu werden und genug Kapazitäten für den *germane cognitive load* zur Verfügung

zu stellen. Entsprechend wurden die Schüler in der Interventionsstudie gezielt darauf hingewiesen technische Schwierigkeiten zu nennen, sodass der Betreuende hierzu eine gezielte Hilfestellung leisten konnte. Das digitale Arbeitsheft wurde durch eine auf der Webseite integrierten Ergebnissicherung via Email ersetzt<sup>5</sup>. Um die Reihenfolge der Bearbeitung vorzugeben, wurde diese an die Wand projiziert.

### 2.3.4 Teilstudie D

Teilstudie D konnte zeigen, dass eine Intervention mit authentischen Lerninhalten in einer informalen authentischen Lernumgebung die Teilkompetenzen, Wissen, Naturverbundenheit sowie umweltbewusstes Verhalten und somit *Environmental Literacy* fördern kann.

Das Gesamtwissen der Schüler konnte durch die Intervention von Vortest zu Nachtest gesteigert werden und blieb auf diesem Niveau bis zum Behaltenstest nach sechs Wochen stabil. Entsprechend kann der *hands-on* Ansatz als eine erfolgreiche Methode angesehen werden, um Wissen nachhaltig zu steigern, wodurch die konstruktivistische Perspektive unterstützt wird. Diese nimmt an, dass individuelle *hands-on* Aktivitäten das Lernen durch eigenständige Aktivität, Problem-Orientierung und eigenständiges Denken fördern (Mayer & Frantz, 2004). Des Weiteren zeigten Johnson und Johnson (1999), dass kleine kooperative Gruppen bessere Lernleistungen zeigen, mehr Anstrengungen investieren und dadurch höhere Lernergebnisse im Bereich der Wissensakquise erzielen, worin sich ein weiterer Grund für den nachhaltigen Wissenserwerb der Teilnehmer finden lässt, die in Kleingruppen von vier bis fünf Schülern zusammengearbeitet haben. Auch Lord (2001) wies nach, dass kooperative schülerzentrierte Lernstationen ein geeigneter Ansatz sind, um insbesondere individuell kognitive Leistungen zu steigern.

Diese vorhergehenden Studien untergliederten das vermittelte Wissen jedoch nicht in verschiedene Domänen. Diese Teilstudie zeigt, dass die Wissensdomänen ein individuelles Muster in Bezug auf die drei Testzeitpunkte aufweisen: Systemwissen stieg zwischen Vor- und Nachtest durch die Intervention an, fiel jedoch auf den ursprünglichen Ausgangsstand im Behaltenstest zurück. Handlungswissen konnte hingegen nachhaltig akquiriert werden und veränderte sich entsprechend nicht zwischen Nachtest und Behaltenstest. Effektivitätswissen zeigte interessanterweise erst zwischen Nach- und Behaltenstest einen signifikanten Anstieg. Der Anstieg von Systemwissen und Handlungswissen zwischen den ersten beiden Testzeitpunkten verhält sich ähnlich zu den Ergebnissen von Fremerey und Bogner (2014), die darüberhinaus auch eine Tendenz für absinkendes Systemwissen gefunden haben. Thorn und Bogner (2015) zeigten, dass sich Effektivitätswissen nicht

---

<sup>5</sup>Schüler, die diese Form nicht in Anspruch nehmen wollten, durften weiterhin das digitale Arbeitsheft verwenden.

### 2.3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

zwischen Vor- und Nachtest verändert, was mit den Ergebnissen der vorliegenden Teilstudie übereinstimmt. Das prominente Absinken von Systemwissen könnte ein Indiz dafür sein, dass Schüler dies "nur" für den nächsten Test lernen und danach vergessen (Finley et al., 1982). Entsprechend stellen die anderen beiden Wissensdomänen nachhaltigere Variablen dar, um *Environmental Literacy* zu fördern.

Hierdurch ergibt sich jedoch eine Diskrepanz zwischen Theorie, Forschung und Schulpraxis: Auch wenn die aktuellen Bildungsstandards weitere Kompetenzen festschreiben, ist Systemwissen nach wie vor die prominenteste Wissensform im Schulalltag. Bezüglich außerschulischen Lernkontexten stellt diese Teilstudie botanische Gärten als angemessene Lernorte heraus. Entsprechend den Ergebnissen zur Wissensakquise sollten sie ihren Fokus auf Handlungswissen legen, wodurch die Ergebnisse dieser Teilstudie die Ansichten von Dodd und Jones (2011) unterstützt. Im Kontext von Bildung für nachhaltige Entwicklung unterstützen die Ergebnisse dieser Teilstudie die Förderungen von Handlungswissen und Effektivitätswissen. Insbesondere die Schülerrelevanz des unterrichteten Handlungswissens könnte ein möglicher Grund des stabilen Wissenszuwachs in dieser Wissensdomäne sein. Der Verlauf des Effektivitätswissens deutet auf eine mögliche Verarbeitungsphase hin, wofür jedoch weitere vor allem qualitative Untersuchungen benötigt werden, um diese Möglichkeit näher zu beleuchten. Bereits Frick et al. (2004) erkannten im Effektivitätswissen Unterschiede zu den anderen Wissensdomänen und postulierten, dass diese Wissensdomäne zwar theoretisch eine wichtige Rolle in Bezug auf umweltbewusstes Verhalten spielt, jedoch weitere Untersuchungen dieser Wissensdomäne nötig sind.

Neben Wissen konnte durch die Intervention auch die Naturverbundenheit der Schüler gesteigert werden. Der Verlauf dieser Teilkompetenz folgte allgemein dem anderer kurzer Intervention wie z.B. Sellmann und Bogner (2012a). Dennoch sind die vorliegenden Ergebnisse einzigartig, da eine nachhaltige Steigerung auch noch nach sechs bis acht Wochen verzeichnet werden konnte. Dies wurde bisher nur bei langfristigen Interventionen beobachtet (Bogner, 1998). Eine ausschlaggebende Rolle könnte die Schülerzentriertheit, die Autonomie der Schüler und die damit verbundene "empfundene Direktheit" der Lernerfahrung gespielt haben. Duerden und Witt (2010) erklärten, dass der reine Bezug zu einer authentischen Umgebung nicht ausreicht und selbst Schüler, die in einem tropischen Regenwald an einer Exkursion teilgenommen haben, dies nicht als direkte Naturerfahrung empfanden, da ihnen die Autonomie zum eigenen Entdecken der Umgebung fehlte.

Die vorliegende Interventionsstudie im Gegensatz legte einen speziellen Fokus auf die oben beschriebenen Faktoren, um positive Erfahrungen und Möglichkeiten die Gewächshäuser eigenständig zu erkunden zu stiften, sodass die Schüler sich selbstständig mit den Pflanzen vertraut machen konnten, um so ihre Wertschätzung zu fördern. Persönliche Beobachtungen während der Studiendurchführung waren immer wieder von Schülern

geprägt, die durch die Gewächshäuser liefen und fasziniert von der tropischen Flora die Schönheit der Natur bewunderten. Entsprechend ist anzunehmen, dass die Schüler das Lernmodul in den Gewächshäusern, auch wenn diese eigentlich "nur" Modellcharakter haben, als direkte Naturerfahrung empfanden.

Die Untersuchungen des umweltbewussten Verhaltens illustrierten, dass das theoretische Zusammenspiel von Wissen und Naturverbundenheit auch praktisch durch die Intervention zur Steigerung der Intention für Konsumverhalten und vikariierende Verhalten führen kann, auch wenn nur leichte Veränderungen zwischen Vor- und Behaltenstest zu verzeichnen sind. Wie zuvor beschrieben, ist diese Veränderung jedoch eher ungewöhnlich aufgrund der kurzen Interventionsdauer. Für eine Bestätigung von Gründen, sollten möglichst qualitative Daten zu Rate gezogen werden, welche in nachfolgenden Studien erhoben werden sollten. Dennoch ergeben sich mögliche Gründe aus dem theoretischen Zusammenspiel der *Environmental Literacy* Variablen: Die stabile Förderung der Naturverbundenheit könnte umweltbewusstes Verhalten triggern, da hierdurch zum einen die emotionale Verbindung als auch theoretisch die Naturwertschätzung gesteigert werden, wodurch möglicherweise ein Bedürfnis zum Schutz der Natur induziert wird. Vor allem die Steigerung des Handlungswissens könnte darauffolgend die Einstellungsebene beeinflusst haben. Durch die Förderung von *Preservation* und die Relativierung von *Utilization* könnte die Verhaltensintention indirekt verändert worden sein. Da potentielle Änderungen von *Preservation* und *Utilization* jedoch nicht mit Hilfe von Vor-, Nach- und Behaltenstest untersucht wurden (Begründung siehe Bogner (1998)), sind weitere Studien nötig, um dieses Zusammenspiel abschließend zu evaluieren. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt sind die verwendeten GEB-Subskalen, "Consumerism" und "Vicarious behavior towards conservation", welche explizit durch die *hands-on* Stationen angesprochen und im *e-Learning* Modul reflektiert wurden, sodass sich unter Umständen ein anderes Bild ergäbe, wenn alle Subskalen in die Analyse mit eingeflossen wären. Nichtsdestotrotz stellen die vorliegenden Ergebnisse einen wichtigen Beitrag zur Förderung von umweltbewusstem Verhalten dar, da vor allem Konsumverhalten ein wichtiger Aspekt im Bereich des anthropogenen Treibhauseffekts ist. Die vorliegenden Ergebnisse entsprechen den Schlussfolgerungen von Vesterinen et al. (2016), die beschrieben, dass Schüler selbst angaben, dass erhöhte Aufmerksamkeit für *socio-scientific* Themen wie Klimawandel einer der effektivsten Wege wäre, um globale Herausforderungen zu meistern, da ein Mangel an Aufmerksamkeit die "Wurzel" vieler Umweltprobleme sei.

## 2.4 Schlussfolgerung und Ausblick

In der vorliegenden Studie konnte ein bestehendes Umweltkompetenzmodell durch zwei weitere Umwelteinstellungskomponenten zu einem *Environmental Literacy*-beschreibenden

## 2.4. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Modell erweitert und darauf basierend ein Lernmodul, unter Berücksichtigung von Schülervorstellungen, entwickelt und implementiert werden. Die Evaluation bestätigte, dass die Intervention Teilkompetenzen der *Environmental Literacy*, genauer Handlungswissen, Effektivitätswissen, Naturverbundenheit und umweltbewusste Handlungstendenzen fördern konnte.

Bezüglich der untersuchten Schülervorstellungen wurde gezeigt, dass trotz der Bestrebungen des Biologieunterrichts seit den 1980er Jahren nach wie vor prominente alternative Vorstellungen existieren und diese gemeinsam mit wissenschaftlichen Vorstellungen das Verständnis von Schülern für den Themenkomplex Photosynthese und Holzbildung beeinflussen, wodurch ein fragmentiertes Wissensprofil, sogar bei Studierenden der Naturwissenschaften, vorliegt, welches im Biologieunterricht berücksichtigt werden sollte. Bildung wurde hierbei als determinierender Faktor identifiziert, sodass der Themenkomplex nicht nur integriert, sondern auch wiederholt in den verschiedenen Klassenstufen unterrichtet werden sollte, um ein integriertes Wissensprofil zu fördern.

Allgemein zeigte sich durch die Modellierung von *Environmental Literacy*, dass Wissensförderung vor allem in den Domänen des Handlungs- und Effektivitätswissens relevant ist, da hierdurch auch in kurzen Interventionen Umwelteinstellungen und hierüber theoretisch umweltbewusstes Verhalten indirekt gefördert werden können. Das Modell hob hierbei die Einstellungsvariablen "Naturwertschätzung" und "Preservation" als erfolgsversprechende Ansatzpunkte für langfristige Interventionen hervor, da diese wiederum direkt auf das Verhalten Einfluss nehmen könnten. Im Schulalltag ist die Zeit in der Regel begrenzt, sodass in dieser Studie eine kurzfristige Intervention betrachtet wurde. Neben *hands-on* Stationen wurde gezeigt, dass auch *e-Learning* zu einem signifikanten Wissenszuwachs führen kann und Schüler diese Lernmethode als positiv bewerten. Die geistige Anstrengung bleibt hierbei im Schnitt unter der einer typischen Unterrichtsstunde. Dennoch müssen individuelle Schwierigkeiten mit dem Lernmedium berücksichtigt werden, um allen Schülern die Möglichkeit zu gewähren einen Lernerfolg aus dieser Methode zu ziehen. Lernerfolg sollte sich im Rahmen der *Environmental Literacy* jedoch nicht nur auf den traditionell betrachteten Wissenserwerb beziehen, sondern auch Umwelteinstellungs- und -verhaltenstendenzen berücksichtigen.

Eine geeignete Lernumgebung für die Umsetzung zeigte sich in botanischen Gärten, welche, basierend auf ihren großen Pflanzensammlungen, die Möglichkeit haben als "Fenster zur botanischen Welt" zu fungieren. Wird hierbei ein schülerzentrierter Lernansatz verfolgt und den Schülern ein gewisses Maß an Autonomie gewährt, können die Naturverbundenheit und mittelfristig sogar umweltbewusste Verhaltenstendenzen gefördert werden. Hierbei zeigen die Ergebnisse die Tendenz die theoretischen Beziehungen zwischen Handlungs- und Effektivitätswissen sowie den Umwelteinstellungs- und Verhaltensvariablen zu bestätigen.

## KAPITEL 2. SYNOPSIS

Entsprechend sollte Systemwissen weniger im Fokus von Unterricht stehen, wenn das Ziel ist, mündige Weltbürger zu erziehen. Hierfür sollten schülerrelevantes Handlungs- und Effektivitätswissen vermittelt werden, welche im 21. Jahrhundert als vielversprechendere Variablen anzusehen sind als pures Faktenwissen, welches nicht ausreicht, um globalen Herausforderungen entgegenzutreten.

## Kapitel 3

# Literaturverzeichnis

---

- Agresti, A. (2002). *Categorical data analysis* (Second ed.). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Anderberg, M. R. (1973). *Cluster analyses for applications*. New York: Academic.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2000). Students' Understanding of the Greenhouse Effect, the Societal Consequences of Reducing CO<sub>2</sub> Emissions and the Problem of Ozone Layer Depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, **37**(10), 1096–1111.
- Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Barrett, T. J., Stull, A. T., Hsu, T. M., & Hegarty, M. (2015). Constrained interactivity for relating multiple representations in science: When virtual is better than real. *Computers & Education*, **81**, 69–81.
- Bello, C., Galetti, M., Pizo, M. A., Magnago, L. F. S., Rocha, M. F., Lima, R. A. F., . . . Jordano, P. (2015). Defaunation affects carbon storage in tropical forests. *Science Advances*, **1**(11), 1–10.
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society*, **57**(1), 289–300.
- Bledsoe, K. E. (2013). “Starch is Very Fatty”: Understanding the Logic in Undergraduate Student Conceptions about Biological Molecules. *Electronic Journal of Science Education*, **17**(2), 1–35.
- Boeve-de Pauw, J., & Van Petegem, P. (2011). The Effect of Flemish Eco-Schools on Student Environmental Knowledge, Attitudes, and Affect. *International Journal of Science Education*, **33**(11), 1513–1538.
- Boeve-de Pauw, J., & Van Petegem, P. (2013). The Effect of Eco-Schools on Children's Environmental Values and Behaviour. *Journal of Biological Education*, **47**(2), 96–103.
- Bogner, F., Johnson, B., Buxner, S., & Felix, L. (2015). The 2-MEV model: Constancy of adolescent environmental values within an 8-year time frame. *International Journal of Science Education*, **37**(12), 1–15.
- Bogner, F. X. (1998). The Influence of Short-Term Outdoor Ecology Education on Long-Term Variables of Environmental Perspective. *The Journal of Environmental Education*, **29**(4), 17–29.
- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (1999). Toward Measuring Adolescent Environmental Perception. *European Psychologist*, **4**(3), 139–151.
- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (2002). Environmental perception: Factor profiles of

- extreme groups. *European Psychologist*, **7**, 225–237.
- Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H., & White, J. S. S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, **24**(3), 127–135.
- Borchers, C., Boesch, C., Riedel, J., Guilahoux, H., Ouattara, D., & Randler, C. (2014). Environmental Education in Côte d'Ivoire/West Africa: Extra-Curricular Primary School Teaching Shows Positive Impact on Environmental Knowledge and Attitudes. *International Journal of Science Education*, **4**(3), 240–259.
- Bord, R., O'Connor, R., & Fisher, A. (2000). In what sense does the public need to understand global climate change? *Public Understanding of Science*, **9**, 205–218.
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1993). The 'greenhouse effect': children's perceptions of causes, consequences and curses. *International Journal of Science Education*, **15**(5), 531–552.
- Bozniak, E. C. (1994). Challenges facing plant biology teaching programs. *Plant Science Bulletin*, **40**(2), 42–46.
- Brick, C., & Lewis, G. J. (2014). *Unearthing the "Green" Personality: Core Traits Predict Environmentally Friendly Behavior*. , *Environment and Behavior*, first published on October 15, 2014 as doi:10.1177/0013916514554695.
- Brügger, A., Kaiser, F., & Roczen, N. (2011). One for all? Connectedness to nature, inclusion of nature, environmental identity, and implicit association with nature. *European Psychologist*, **16**, 324–333.
- Bybee, R. W. (2003). The teaching of science: content, coherence, and congruence. *Journal of Science Education and Technology*, **12**(4), 343–358.
- Cassidy, S., & Eachus, P. (2002). Developing the Computer User Self-Efficacy (CUSE) Scale: Investigating the Relationship Between Computer Self-Efficacy, Gender and Experience with Computers. *Journal of Educational Computing Research*, **26**(2), 133–153.
- Chambers, J. Q., Higuchi, N., & Schimel, J. P. (1998). Ancient trees in Amazonia. *Nature*, **391**(6663), 135–136.
- Cheng, J. C. H., & Monroe, M. C. (2012). Connection to Nature Children's Affective Attitude Toward Nature. *Environment and Behavior*, **44**(1), 31–49.
- Chin, W. (1998). The Partial Least Squares Approach to SEM. In M. GA (Ed.), *Modern methods for business research* (pp. 295–336). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Clark, D. B., Clark, D. A., & Oberbauer, S. F. (2010). Annual wood production in a tropical rain forest in NE Costa Rica linked to climatic variation but not to increasing CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology*, **16**(2), 747–759.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, **20**(1), 37–46.
- Compeau, D. R., & Higgins, C. (1995). Computer Self-Efficacy: Development of a Measure



- and Initial Test. *MIS Quarterly*, **19**(2), 189–211.
- Corral-Verdugo, V. (2002). A Structural Model of Proenvironmental Competency. *Environment and Behavior*, **34**(4), 531–549.
- Cox, M. (2013). Formal to informal learning with IT: research challenges and issues for e-learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, **29**(1), 85–105.
- Davies, P., Sanders, D. L., & Amos, R. (2015). Learning in Cultivated Gardens and Other Outdoor Landscapes. In C. Boulter, M. Reiss, & D. Sanders (Eds.), *Darwin-inspired learning* (pp. 47–58). Rotterdam: Sense Publishers.
- Davis, M. B., & Shaw, R. G. (2001). Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. *Science*, **292**(27), 673–679.
- De Young, R. (1996). Some Psychological Aspects of Reduced Consumption Behavior: The Role of Intrinsic Satisfaction and Competence Motivation. *Environment and Behavior*, **28**(3), 358–409.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, **4**(8), 1300–1305.
- Dixon, R. K., Salomon, A., Brown, S., Houghton, R., Trexler, M., & Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, **263**(5144), 185–190.
- Dodd, J., & Jones, C. (2011). Towards a new social purpose The role of botanic gardens in the 21st century. *Roots*, **8**(1), 5–8.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational researcher*, **23**(7), 5–12.
- Duerden, M., & Witt, P. (2010). The impact of direct and indirect experiences on the development of environmental knowledge, attitudes, and behavior. *Journal of Environmental Psychology*, **30**(4), 379–392.
- Dunlap, R. E. (2008). The New Environmental Paradigm Scale: From Marginality to Worldwide Use. *The Journal of Environmental Education*, **40**(1), 3–18.
- Ekici, F., Ekici, E., & Aydin, F. (2007). Utility of Concept Cartoons in Diagnosing and Overcoming Misconceptions Related to Photosynthesis. *International Journal of Environmental & Science Education*, **2**(4), 111–124.
- Engelbrecht, B. M. J., Comita, L. S., Condit, R., Kursar, T. a., Tyree, M. T., Turner, B. L., & Hubbell, S. P. (2007). Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature*, **447**(7140), 80–82.
- Fawcett, A. A., Iyer, G. C., Clarke, L. E., Edmonds, J. A., Hultman, N. E., Haewon, C., ... Mcfarland, J. (2015). Can Paris pledges avert severe climate change? *Science*, **350**(6265), 1168–1169.
- Feeley, K. J., Rhem, E. M., & Machovina, B. (2012). The responses of tropical forest species to global climate change: acclimate, adapt, migrate, or go extinct? *Frontiers of Biogeography*, **4**(2), 69–84.
- Finley, F. N., Stewart, J., & Yaroch, W. L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, **66**(4), 531–538.

- Fortner, R. W., Lee, J.-Y., Corney, J. R., Romanello, S., Bonnell, J., Luthy, B., . . . Ntsiko, N. (2000). Public Understanding of Climate Change: Certainty and willingness to act. *Environmental Education Research*, **6**(2), 127–141.
- Fraser, J., Gupta, R., & Krasny, M. E. (2014). Practitioners' perspectives on the purpose of environmental education. *Environmental Education Research*, (March 2015), 1–24.
- Fremerey, C., & Bogner, F. X. (2014). Learning about Drinking Water: How Important are the Three Dimensions of Knowledge that Can Change Individual Behavior? *Education Sciences*, **4**(4), 213–228.
- Frick, J., Kaiser, F. G., & Wilson, M. (2004). Environmental knowledge and conservation behavior: exploring prevalence and structure in a representative sample. *Personality and Individual Differences*, **37**(8), 1597–1613.
- Geng, L., Xu, J., Ye, L., Zhou, W., & Zhou, K. (2015). Connections with Nature and Environmental Behaviors. *Plos One*, **10**(5), e0127247.
- Gifford, R. (2014). Environmental psychology matters. *Annual review of psychology*, **65**, 541–79.
- Goldman, D., Assaraf, O. B. Z., & Shaharabani, D. (2013). Influence of a Non-formal Environmental Education Programme on Junior High-School Students' Environmental Literacy. *International Journal of Science Education*, **35**(3), 515–545.
- Haas, A. (1979). Male and female spoken language differences: Stereotypes and evidence. *Psychological Bulletin*, **86**(3), 616–626.
- Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*, **21**(3), 203–211.
- Hill, T., Smith, N. D., & Mann, M. F. (1987). Role of efficacy expectations in predicting the decision to use advanced technologies: The case of computers. *Journal of Applied Psychology*, **72**(2), 307–313.
- Holmes, J. (1995). *Women, men and politeness.:* New York: Longman.
- Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*, **50**(3), 346–363.
- ISB. (2009a). *Fachlehrplan Biologie Jahrgangsstufe 10*.
- ISB. (2009b). *Fachlehrplan Geographie Jahrgangsstufe 10*.
- Johnson, B., & Manoli, C. C. (2008). Using Bogner and Wiseman's model of ecological values to Perceptions., measure the impact of an earth education programme on children's environmental perceptions. *Environmental Education Research*, **14**(2), 115–127.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1999). Making Cooperative Learning Work. *Theory into Practice*, **38**(2), 67–73.
- Kadereit, J. W., Kost, B., Körner, C., & Sonnewald, U. (2014). (B. Jarosch, Ed.). Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- Kaiser, F. G. (1998). A general measure of ecological behavior. *Journal of Applied Social*

*Psychology*, **5**, 395–422.

- Kaiser, F. G., Oerke, B., & Bogner, F. X. (2007). Behaviour-based environmental attitude: Development of an instrument for adolescents. *Journal of Environmental Psychology*, **27**, 242–251.
- Kaiser, F. G., Roczen, N., & Bogner, F. X. (2008). Competence formation in environmental education: Advancing ecology-specific rather than general abilities. *Umweltpsychologie*, **12**(2), 56–70.
- Kiene, H., Kirchhof, J., & Walter-von Lüderitz, D. (2008). Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage, Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH.
- Klein, E. (2008). Würzburg: VBIO e.V. Verband Biologie, Biowissenschaften, und Biomedizin in Deutschland.
- KMK. (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. Wolters Kluwer Deutschland GmbH. München, Neuwied: Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
- Linn, M., Davies, E., & Bell, P. (Eds.). (2004). *Internet Environments for Science Education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Liu, X., & Lesniak, K. (2006). Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching*, **43**(3), 320–347.
- Lombardi, D., & Sinatra, G. M. (2012). College Students' Perceptions About the Plausibility of Human-Induced Climate Change. *Research in Science Education*, **42**(2), 201–217.
- Lord, T. R. (2001). 101 Reasons for Using Cooperative Learning in Biology Teaching. *The American Biology Teacher*, **63**(1), 30–38.
- Manger, A., Manger, J., Moßner, H., & Staudinger, J. (2008). (O. Biek, Ed.). Stuttgart: Ernst Klatt Verlag GmbH.
- Manochehr, N. (2006). The influence of Learning Styles on Learners in E-Learning Environments: An Empirical Study. *Computers in Higher Education Economics Review*, **18**, 10–14.
- Maskiewicz, A. C., & Lineback, J. E. (2013). Misconceptions are "so yesterday!". *CBE Life Sciences Education*, **12**, 352–356.
- Mayer, F. S., & Frantz, C. M. (2004). The connectedness to nature scale: A measure of individuals' feeling in community with nature. *Journal of Environmental Psychology*, **24**(4), 503–515.
- Mayring, P. (2001). Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyse. *Forum Qualitative Sozialforschung*, **2**(1), 1–14.
- McCullagh, P., & Nelder, J. (1989). Generalized linear models). *Monographs on statistics and applied probability*, **37**, 32–51.
- Milfont, T. L., & Duckitt, J. (2004). The structure of environmental attitudes: A first- and second-order confirmatory factor analysis. *Journal of Environmental Psychology*,

24(3), 289–303.

- Morgül, I., Arda, S., Seçken, N., Yavuz, S., & Oskay, Ö. Ö. (2004). The influence of computer-assisted education on environmental knowledge and environmental awareness. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(2), 99–110.
- Muller, H. J. (1957). Man's place in living nature. *The Scientific Monthly*, 84(5), 245–254.
- Norusis, M. J. (1993). *SPSS for Windows professional statistica release 6.0*. Chicago: SPSS.
- Nyberg, E., & Sanders, D. (2013). Drawing attention to the 'green side of life'. *Journal of Biological Education*, 48(3), 142–153.
- Oerke, B., & Bogner, F. X. (2013). Social Desirability, Environmental Attitudes, and General Ecological Behaviour in Children. *International Journal of Science Education*, 35(5), 713–730.
- Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. J. G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4), 351–371.
- Parker, N. K. (2004). The Quality Dilemma in Online Education. In T. Anderson & F. Elloumi (Eds.), *Theory and practice of online learning* (pp. 385–409). Athabasca, Canada: Athabasca Univeristy.
- Parnesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 37, 637–669.
- Pfattheicher, S., Sassenrath, C., & Schindler, S. (2015). *Feelings for the Suffering of Others and the Environment: Compassion Fosters Proenvironmental Tendencies.* , *Environment and Behavior*, published online before print on March 10, 2015, doi: 10.1177/0013916515574549.
- Rebich, S., & Gautier, C. (2005). Concept Mapping to Reveal Prior Knowledge and Conceptual Change in a Mock Summit Course on Global Climate Change. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 355–365.
- Reinfried, S., Aeschbacher, U., & Rottermann, B. (2012). Improving students' conceptual understanding of the greenhouse effect using theory-based learning materials that promote deep learning. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 21(2), 155–178.
- Ribes, E. (1990). *Psicología general*. Mexico: Editorial Trillas.
- Roczen, N., Kaiser, F. G., Bogner, F. X., & Wilson, M. (2013). A Competence Model for Environmental Education. *Environment and Behavior*, 46(8), 972–992.
- Roth, C. E. (1968). On the road to conservation. *Massachusetts Audubon*, 52(4), 38–41.
- Roth, C. E. (1992). *Environmental Literacy: Its Roots, Evolution and Directions in the 1990s*. (D. L. Haury, Ed.). Columbus, OH: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education.
- Ryoo, K., & Linn, M. C. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis? *Journal of Research in Science*

- Teaching*, **49**(2), 218–243.
- Sanders, D. (2007). Making public the private life of plants: The contribution of informal learning environments. *International Journal of Science Education*, **29**(10), 1209–28.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2006). The suitability of external control-groups for empirical control purposes: a cautionary story in science education research. *Electronic Journal of Science Education*, **11**(1), 1–15.
- Schneider, M., & Hardy, I. (2012). Profiles of inconsistent knowledge in children’s pathways of conceptual change. *Developmental psychology*, **49**(9), 1639–1649.
- Schultz, P. W. (2001). The structure of environmental concern: Concern for self, other people, and the biosphere. *Journal of Environmental Psychology*, **21**, 327–339.
- Schussler, E. E., & Olzak, L. a. (2008). It’s not easy being green: student recall of plant and animal images. *Journal of Biological Education*, **42**(3), 112–119.
- Sellmann, D., & Bogner, F. X. (2012a). Climate change education: quantitatively assessing the impact of a botanical garden as an informal learning environment. *Environmental Education Research*, **19**(4), 415–429.
- Sellmann, D., & Bogner, F. X. (2012b). Effects of a 1-day environmental education intervention on environmental attitudes and connectedness with nature. *European Journal of Psychology of Education*, **28**(3), 1077–1086.
- Settlage, J. (2000). Understanding the Learning Cycle: Influences on Abilities to Embrace the Approach by Preservice Elementary School Teachers. *Science Education*, **84**(1), 43–50.
- Shepardson, D. P., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2009). Seventh Grade Students’ Conceptions of Global Warming and Climate Change. *Environmental Education Research*, **15**(5), 549–570.
- Stavy, R., Eisen, Y., & Yaakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, **9**(1), 105–115.
- Steg, L., & Vlek, C. (2009). Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology*, **29**(3), 309–317.
- Stern, L., Barnea, N., & Shauli, S. (2008). The Effect of a Computerized Simulation on Middle School Students’ Understanding of the Kinetic Molecular Theory. *Journal of Science Education and Technology*, **17**(4), 305–315.
- Stern, M. J., Powell, R. B., & Ardoin, N. M. (2008). What difference does it make? Assessing outcomes from participation in a residential environmental education program. *The Journal of Environmental Education*, **39**(4), 31–43.
- Sun, P. C., Tsai, R. J., Finger, G., Chen, Y. Y., & Yeh, D. (2008). What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction. *Computers and Education*, **50**(4), 1183–1202.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, **10**(3), 251–296.
- Takahashi, B., & Selfa, T. (2014). *Predictors of Pro-Environmental Behavior in Rural*

- American Communities. , Environment and Behavior*, published online before print on February 4, 2014, doi: 10.1177/0013916514521208.
- Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., Chatelin, Y. M., & Lauro, C. (2005). PLS path modeling. *Computational Statistics and Data Analysis*, **48**(1), 159–205.
- Thorn, C. J., & Bogner, F. X. (2015). *Is system-related knowledge the easiest one to gain? How a student-centered education program intervenes with knowledge dimensions.* submitted to Studies in Educational Evaluation.
- Tibshirani, R., & Walther, G. (2005). Cluster Validation by Prediction Strength. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, **14**(3), 511–528.
- Uitto, A., Boeve-de Pauw, J., & Saloranta, S. (2015). Participatory school experiences as facilitators for adolescents' ecological behavior. *Journal of Environmental Psychology*, **43**(2015), 55–65.
- Urbach, N., & Ahlemann, F. (2010). Structural equation modeling in information systems research using partial least squares. *Journal of Information Technology Theory and Application*, **11**(2), 5–40.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Ayres, P. (2005). Research on Cognitive Load Theory and Its Design Implications for E-Learning. *Educational Technology Research and Development*, **53**(c), 5–13.
- Vesterinen, V.-M., Tolppanen, S., & Aksela, M. (2016). *Toward citizenship science education : what students do to make the world a better place ? , International Journal of Science Education*, published online before print on January 06, 2016, doi: 10.1080/09500693.2015.1125035.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, **4**, 45–69.
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2013). Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence. *Science and Education*, , 1–19.
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (2001). Toward a theory of plant blindness. *Plant Science Bulletin*, **47**(1), 2–9.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: the concept of competence. *Psychological review*, **66**(5), 297–333.
- Wyse, Jackson, P., & Sutherland, L. (2000). *International agenda for botanic gardens in conservation* (Tech. Rep.). Richmond, VA: Botanic Gardens Conservation International.
- Yacob, A., Kadir, A. Z. A., Zainudin, O., & Zurairah, A. (2012). Student Awareness Towards E-Learning In Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **67**, 93–101.

## Kapitel 4

# Teilstudien

---

Im Rahmen dieser Dissertation wurden vier Teilstudien verfasst, welche im nachfolgenden aufgelistet sind:

### Teilstudie A

Thorn, C. J.\*, Bissinger, K.\*, Thorn, S., & Bogner, F. X. (2016). "Trees Live on Soil and Sunshine!" - Coexistence of Scientific and Alternative Conception of Tree Assimilation. *Plos One*, **11**(1), 1–14. doi:10.1371/journal.pone.0147802

\*equally contributing first authors

### Teilstudie B

Bissinger, K. & Bogner, F. X. (2015). Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge. *Journal of Environmental Psychology* (eingereicht, derzeit *under Review*)

### Teilstudie C

Bissinger, K., & Bogner, F. X. (2015). Student's Quality Perception And Learning Outcomes When Using An Open Accessible Elearning-Resource. *eLearning Papers*, **40**, 23–31.

### Teilstudie D

Bissinger, K. & Bogner, F. X. (2016). Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change. *Journal of Environmental Education*, (eingereicht, derzeit *under Review*)

## 4.1 Darstellung des Eigenanteils

Nachfolgend wird der Eigenanteil detailliert dargestellt. **Teilstudie A** wurde von mir gemeinsam mit Frau Christine Johanna Thorn, als „equally contributing first authors“, unter Betreuung meines Doktorvaters konzipiert und verfasst. Gemeinsam mit Frau Thorn wurden in einer Vorstudie die offenen Fragen entwickelt und evaluiert. Die Daten der Schüler der Jahrgangsstufe 10 sowie 50% der Daten aller Studenten wurden von mir mittels Fragebogen erhoben und anschließend durch die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse codiert. Zusätzlich fungierte ich als intra-rater für die von Frau Thorn erhobenen Daten (Jahrgangsstufe 6 und 50% der Studenten). Die Auswertung der quantitativen Daten und

die folgenden Überarbeitungen des Manuskripts erfolgte zu gleichen Teilen von mir und den Co-Autoren Christine Johanna Thorn und Simon Thorn. Die **Teilstudien B, C** und **D** wurden unter Betreuung meines Doktorvaters von mir konzipiert und verfasst. Alle Evaluationsinstrumente mit Ausnahme der Wissensitems wurden aus der Literatur entnommen. Die Wissensitems wurden von mir erstellt und mit Hilfe von Experten-Rating durch Dr. Olivia Dieser, Dr. Anne Liefänder, Dr. Sarah Schmid, Mona Schönfelder und Christine Johanna Thorn, den drei Wissensdomänen für den Pilottest (**Teilstudie B**) zugeordnet. Die abschließende Zuordnung, basierend auf einer Raschanalyse und einem *structured equation model*, wurde eigenständig von mir durchgeführt. Die Erhebung und Auswertung der Daten, die Entwicklung der *hands-on* Lernstationen und des Arbeitsheftes sowie die Koordination und Durchführung (gemeinsam mit einer studentischen Hilfskraft) der Intervention fand durch mich statt. Das *e-Learning*-Modul wurde von mir konzipiert und mit Ausnahme der "Datenbank & Analyse" Unterseite von mir programmiert. Hierfür wurden zum Teil bestehende *e-Learning* Ressourcen, nach Absprache und Genehmigung mit den *Copyright*-Inhabern (planet-schule.de und planet-wissen.de sowie klimaktiv.de), verwendet. Die Unterseite "Datenbank & Analyse" inklusive der *Plotting*-Applikation wurde von Matthias Kühnel programmiert. Die zugrunde liegenden Klimadaten wurden von der DFG PAK823-825 (<http://www.tropicalmountainforest.org>) zur Verfügung gestellt. Das eingebundene Video wurde von dfg-sciencetv.de zur Verfügung gestellt und von mir geschnitten.



## 4.2 Teilstudie A Schülervorstellungen



RESEARCH ARTICLE

### “Trees Live on Soil and Sunshine!”- Coexistence of Scientific and Alternative Conception of Tree Assimilation

Christine Johanna Thorn<sup>1</sup>\*, Kerstin Bissinger<sup>1</sup>, Simon Thorn<sup>2</sup>, Franz Xaver Bogner<sup>1</sup>

**1** Department of Biological Education and Centre of Math and Science Education (Z-MNU), University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, NW II, 95447, Bayreuth, Germany, **2** Bavarian Forest National Park, National Park, Freyunger Str. 2, 94481, Grafenau, Germany

\* These authors contributed equally to this work.

\* [Christine.Thorn@uni-bayreuth.de](mailto:Christine.Thorn@uni-bayreuth.de)CrossMark  
click for updates

#### OPEN ACCESS

**Citation:** Thorn CJ, Bissinger K, Thorn S, Bogner FX (2016) “Trees Live on Soil and Sunshine!”-Coexistence of Scientific and Alternative Conception of Tree Assimilation. PLoS ONE 11(1): e0147802. doi:10.1371/journal.pone.0147802

**Editor:** Francesco Pappalardo, University of Catania, ITALY

**Received:** June 3, 2015

**Accepted:** January 9, 2016

**Published:** January 25, 2016

**Copyright:** © 2016 Thorn et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** In order to protect participant privacy, all data are available upon request. Please contact Christine Johanna Thorn ([Christine.Thorn@uni-bayreuth.de](mailto:Christine.Thorn@uni-bayreuth.de)) at University of Bayreuth, Department for Biology Education, to receive the data.

**Funding:** Financial support was granted by the Open Discovery Space Project funded by European Union CIP PSP Grant Agreement No. 297229 and the University of Bayreuth to FXB ([www.opendiscovery.space.eu](http://www.opendiscovery.space.eu)). Publishing fees for CJA and KB were funded by the German Research Foundation (DFG) and the University of Bayreuth in

#### Abstract

Successful learning is the integration of new knowledge into existing schemes, leading to an integrated and correct scientific conception. By contrast, the co-existence of scientific and alternative conceptions may indicate a fragmented knowledge profile. Every learner is unique and thus carries an individual set of preconceptions before classroom engagement due to prior experiences. Hence, instructors and teachers have to consider the heterogeneous knowledge profiles of their class when teaching. However, determinants of fragmented knowledge profiles are not well understood yet, which may hamper a development of adapted teaching schemes. We used a questionnaire-based approach to assess conceptual knowledge of tree assimilation and wood synthesis surveying 885 students of four educational levels: 6<sup>th</sup> graders, 10<sup>th</sup> graders, natural science freshmen and other academic studies freshmen. We analysed the influence of learner’s characteristics such as educational level, age and sex on the coexistence of scientific and alternative conceptions. Within all subsamples well-known alternative conceptions regarding tree assimilation and wood synthesis coexisted with correct scientific ones. For example, students describe trees to be living on “soil and sunshine”, representing scientific knowledge of photosynthesis mingled with an alternative conception of trees eating like animals. Fragmented knowledge profiles occurred in all subsamples, but our models showed that improved education and age foster knowledge integration. Sex had almost no influence on the existing scientific conceptions and evolution of knowledge integration. Consequently, complex biological issues such as tree assimilation and wood synthesis need specific support e.g. through repeated learning units in class- and seminar-rooms in order to help especially young students to handle and overcome common alternative conceptions and appropriately integrate scientific conceptions into their knowledge profile.

the funding program Open Access Publishing. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

**Competing Interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

## Introduction

Since the beginning of the last century, scientists have been interested in the organisation of cognitive knowledge. Piaget [1] already explained intelligence to be organising the world by organising itself. Thus, new knowledge schemes (organized patterns of knowledge that arrange categories of information and relationships among them) could be developed by modifying old ones [2]. Consequently, successful learning is understood beyond the rote memorisation of mere facts as being the integration of new knowledge into existing schemes. This basic interpretation of daily knowledge acquisition is limited in classrooms to which students bring robust, pre-existing conceptions differing from the accepted scientific ones [3]. Therefore instructors face fragmented to well-structured knowledge profiles which vary between individual students according to prior experiences [4]. Structuring knowledge is important as an individual's conceptual knowledge consists of various elements such as observations, beliefs, explanations etc. [5,6]. These elements are relevant in the process by which fragmentation and integration contribute to a person's conceptual knowledge [7]. Knowledge fragmentation potentially leads to coexisting parallel conceptions related to specific settings (e.g. social environment) [2,7–9].

Different scientific disciplines argue for two parallel assumptions about students' conceptions: The psychological approach of Schneider and Hardy [7] comprises three conceptions namely misconception, every-day and scientific conception. Misconception and everyday conception are both alternative conceptions, which can be falsified by scientific experiments. Scientific conceptions relate to the current state of scientific knowledge, which can be verified but not falsified through an experiment. Misconceptions and everyday conceptions vary in their explanatory power: while everyday conceptions coherently explain observations from everyday life; misconceptions imply no explanatory power and thus can be reduced to naïve concepts [7]. However, in contemporary science education and in scientific literature, the word "misconception" was found to be rarely and inconsistently used even leading to the statement: "Misconceptions are so yesterday" [3] (p. 352). In the 1980s and 1990s when researchers frequently analysed students' conceptions in different fields, the term "misconception" was commonly used to describe frequent scientifically incorrect conceptions that demand professional instruction to be overcome and replaced [10].

Authors such as Hammer [11] introduced students' naïve ideas as valuable resources for developing more sophisticated scientific understanding in physics; supporting Smith et al. [12], who argued that misconceptions contradict constructivism that provoke a paradigm shift. Thus the term "misconception", which historically was aligned with eradication and or replacement of conceptions, should not be used in biology education research any more [3]. The term "alternative conception" seems appropriate as it refers to "experience-based explanations constructed by a learner to make a range of natural phenomena and objects intelligible" while conferring "intellectual respect on the learner who holds those ideas" [13] (p.56). Consequently, we focus on the currently accepted second approach: separating students' knowledge into scientific and alternative conceptions.

Recent studies on biological conceptions predominantly investigate the understanding of evolution and natural selection [14–19]. Conceptual studies on photosynthesis and related issues such as tree assimilation and wood synthesis date back to the 1980s, revealing one prominent alternative concept: Plants absorb nutrients from their environment [20,21]. In detail, fifty percent of participating ninth graders in an Israeli study dealing with photosynthesis thought that trees absorb nutrients from the environment [21] and more than one third of surveyed German students assumed even that plants absorb sugar from soil [22], neglecting the role of plants as primary producers. Hence, students often do not understand plants as

autotrophic organisms [22] that convert gas (CO<sub>2</sub>) to plant biomass [21]. Although the existence of alternative conceptions of tree assimilation and wood synthesis is proven, determinants of the coexistence of scientific and alternative conceptions remain unclear.

We used questionnaires comprising one basic question that focused on enumerating factors assimilated by trees and a more complex question that required a deeper understanding of the wood synthesis process. We investigated potential explanatory factors (age, sex and educational background) on (I), the *expression* of scientific and alternative conceptions and (II) the *coexistence* of scientific and alternative conceptions.

## Methods

### Ethics statement

All proposed research and consent processes were approved by the Bavarian Ministry of Education (“Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst”) in October 2013 (II.7–5 O 5106/92/7) and in November 2013 (III.9–5 O 5106/91/13). All principals of the participating schools were informed about the study and the research conducted in their classrooms and provided their consent. All participants provided their written consent to participate in this study. Students who had not reached age of consent also provided the written consent of their legal guardians. Prior to the data collection, the purpose of the study was explained to all participants. Data privacy laws were respected as our data was recorded pseudo anonymously. Each participant provided a specific identifier number, based on their sex, birth month and year, first two letters of their mothers name and house number. Any categorisation of sex is based on the self-reported sex according to the identifier number provided by the students within the questionnaire. The permit numbers of the Bavarian Ministry of Education allow public review of all questionnaires used in the study. All students and parents from participating classes had the chance to reject study participation, but no one exercised this right.

### Data collection

We gathered our data at two universities and five schools, located in the federal state Bavaria in Germany. Prior to the main study, we sampled responses of 113 freshmen (44.25% male, 55.75% female; mean age = 22.4±2.3) to develop valid test items. All students responded on two open questions focussing on conceptions of tree assimilation and subsequent wood synthesis. Since the way a question is posed might influence the answer, we conduct a pre-test-study to test different wordings and develop both questions. For instance, in question A: “[. . .] In your opinion, what does a tree assimilate in order to form a thick trunk?” Students answered ‘sugar’, which can be either a scientific correct concept if it corresponds to the production of starch and cellulose, or an alternative concept in terms of plants assimilating sugar from their environment. Hence, we reworded the original question and we added the description “from its environment” to clarify our intension. Altogether three test-runs were implemented to develop our final questions that do not allow ambiguous answers.

We used the following two items in the present study: A) “One of the oldest and thickest trees in Bavaria is a 600-year old oak with a circumference of 7.1 m. In your opinion, what does this tree assimilate from its environment during the day in order to form such a thick trunk?”, which represents a basic question and B) “Explain in detail how, in your opinion, this tree produces its timber with inclusion of the above mentioned terms.”, which is a more complex question aiming to reveal substantial understanding of the biological processes of tree assimilation and wood synthesis.

We used these open questions in order to avoid any restriction (possibly conveyed by closed- or multiple-choice questions) and for capturing all concepts provided by students. In

total, 885 students (46.2% male; 53.8% female; mean age = 18.71 SD $\pm$ 3.87) participated in our two question paper-and-pencil questionnaire. A detailed sample description including demographic data is provided in [S1 Table](#).

### Data analysis

Prior to statistical analysis we determined categories by applying a qualitative content analysis [23] to structure and condense our data by an inductive bottom-up approach. Reliability of category assignment was estimated by an intra- inter-rater design (Cohen's Kappa) [24,25]. Thereby randomly chosen 10% of all answers given by participants were dedicated to the categories built: by the same person (intra-rater) and by another person (inter-rater), who was not familiar with the data before. The higher the agreement of dedicated categories is, the closer the reliability (Cohen's Kappa = 0–1; 1 meaning 100% agreement). This procedure revealed 11 categories for each question respectively, which were assigned to scientific or alternative conceptions (S2 Table). Those conceptions were converted into binomial data, representing the presence or absence of a specific category in a student. The sum of present categories indicates the expression of scientific or alternative concepts in a student ranging depended on question A or B and number of concepts from zero to five or six (question A: five scientific and six alternative concepts, question B: six scientific and five alternative concepts) (S2 Table). All concepts encountered were assigned to either alternative or scientific conceptions. For definition we used two terms in this study: concept and conception. Concept refers to particular students' ideas and conception reflects the nature of understanding (e.g. all collected ideas, which meant similar issues). For instance, a student's answer such as "a tree eats soil" resulting in the conception defined as the abstract comprehension of something's nature, in this case an alternative understanding of tree assimilation "nutrients taken from soil" (= category). We assigned "mineral(s)" (i.e. all inorganic substances that trees may absorb from soil), to scientific concepts and "nutrients" (i.e. long-chain hydrocarbons, fats and proteins) to alternative concepts, since trees are autotrophic organism that do not absorb nutrients from the environment.

All subsequent analyses were conducted in R (The R Development Core Team 2014, version 3.1.1; [www.r-project.org](http://www.r-project.org)). To explore general coexistence of distinct concepts we fit Ward's hierarchical cluster analysis [26] by means of function *hclust* (R-package *stats*). Afterwards we implemented k-means cluster analysis [27] by means of function *k-mean* (R-package *stats*) to analyse the structure of the determined clusters. The approach was validated by means of a contingency table [28]. Coefficient of contingency (*C*) describes the interrelation between two variables and is always  $0 < C < 1$ , whereas high *C* means high relations (highest accessible  $C = C_{\max}$ ).

We fit ordered logistic regressions [29] for simultaneously testing the influence of educational background, age and sex as predictors on the sum of present categories within each conception as response variable (function *polr*, R-package *MASS*). In addition, we included the question as factorial predictor within the model, to account for possible differences in conception expression between a basic (A) and a complex (B) question. To simultaneously compare educational backgrounds (for instance 6<sup>th</sup> graders versus 10<sup>th</sup> graders) we implemented pre-defined model contrast by means of function *glht* (R-package *multcomp*), which automatically adjusts p-values for multiple testing [30]. Second, we used binomial linear models (function *glm*, R package *stats*) [31] for testing the influence of educational background, age and sex as predictors on the coexistence of scientific or alternative conceptions (conceptions coexist = 1, conceptions do not coexist = 0) as response variable. Again, pre-defined model contrast with automatically adjusted p-values was used to compare educational backgrounds.

## Results

By answering the open questions, the participants ( $n = 885$ ) provided several concepts per question leading to a total of 1424 concepts for question A and 949 for question B, including both scientific and alternative ones. Inter- and intra-rater reliability depicted the categorisation of both questions as reliable reflected by a strength of agreement as “almost perfect” (ranging from 0.81–1) [25]. Cohen’s kappa coefficient for our questions was: Question A  $k = 0.97$ , question B  $k = 0.96$  (inter-rater) and  $k = 0.98$  (intra-rater) for both questions [24].

Scientific concepts in question A were that trees assimilate minerals (i.e. all inorganic substances that trees may absorb from soil),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , light respectively sunshine and  $\text{H}_2\text{O}$ . Alternative concepts were that trees assimilate nutrients (i.e. long-chain hydrocarbons, fats and proteins) from their environments (see S2 Table for more categories and anchor examples).

In question A, 0.5% of students reported having no idea while 6.1% did not provide any statement. In question B, 6.7% of the students had no idea and 24.0% did not provide any statement. Excluding these missing answers we received five categories of scientific (77.2%) and six categories of alternative conceptions (22.8%) for question A. Six categories of scientific conceptions (50.1%) and five categories of alternative conceptions (49.1%) were present in question B.

## Determinants of the expression of scientific and alternative conceptions

We revealed educational background as the major determinant of conception expression. In question A, freshmen of natural science and freshmen of other academic studies expressed significantly more scientific conceptions than 6<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> graders ( $p < .001$  for all combinations) but did not differ significantly from each other (Table 1). 10<sup>th</sup> graders provided significantly more scientific and alternative conceptions than 6<sup>th</sup> graders. Natural science students provided

**Table 1. Effect of educational background on expression of scientific and alternative conceptions tested with ordered logistic regressions and pre-defined model contrast for multiple comparisons among educational backgrounds ( $n = 885$ ).**

		Question A				Question B			
		Estimate	SD±	t-value	p-value <sup>a</sup>	Estimate	SD±	t-value	p-value <sup>a</sup>
<b>Scientific Conceptions</b>	6 <sup>th</sup> graders-10 <sup>th</sup> graders	-0.43	0.14	-3.11	<b>0.01</b>	-0.52	0.26	-2.04	0.16
	6 <sup>th</sup> graders-Other studies	-1.18	0.17	-6.83	<b>&lt;0.001</b>	-1.22	0.31	-3.88	<b>&lt;0.001</b>
	10 <sup>th</sup> graders-Other studies	-0.75	0.15	-5.01	<b>&lt;0.001</b>	-0.70	0.27	-2.60	<b>0.04</b>
	Natural science-6 <sup>th</sup> graders	1.25	0.18	7.07	<b>&lt;0.001</b>	1.90	0.32	5.93	<b>&lt;0.001</b>
	Natural science-10 <sup>th</sup> graders	0.81	0.15	5.34	<b>&lt;0.001</b>	1.38	0.27	5.06	<b>&lt;0.001</b>
	Natural science-Other studies	0.06	0.09	0.75	0.87	0.68	0.16	4.37	<b>&lt;0.001</b>
	Sex [male—female]	0.12	0.07	1.74	0.29	0.21	0.13	1.60	0.38
Age	-0.11	0.02	-5.90	<b>&lt;0.001</b>	-0.09	0.03	-2.70	<b>0.03</b>	
<b>Alternative Conceptions</b>	6 <sup>th</sup> graders-10 <sup>th</sup> graders	-0.66	0.26	-2.50	<b>0.05</b>	0.02	0.24	0.10	1.00
	6 <sup>th</sup> graders-Other studies	-0.19	0.32	-0.60	0.93	0.30	0.32	0.94	0.77
	10 <sup>th</sup> graders-Other studies	0.47	0.28	1.70	0.31	0.27	0.26	1.03	0.72
	Natural science-6 <sup>th</sup> graders	-0.31	0.33	-0.94	0.77	-0.77	0.33	-2.36	0.08
	Natural science-10 <sup>th</sup> graders	-0.97	0.28	-3.41	<b>&lt;0.001</b>	-0.74	0.27	-2.71	<b>0.03</b>
	Natural science-Other studies	-0.50	0.16	-3.13	<b>0.01</b>	-0.47	0.16	-2.85	<b>0.02</b>
	Sex [male-female]	-0.32	0.13	-2.41	0.07	-0.14	0.13	-1.08	0.73
Age	-0.07	0.03	-2.08	0.15	-0.02	0.03	-0.73	0.92	

<sup>a</sup> significant p-values are marked bold

doi:10.1371/journal.pone.0147802.t001

significantly fewer alternative conceptions than 10<sup>th</sup> graders ( $p < .001$ ) and students of other academic studies ( $p = .01$ ).

In question B, natural science students displayed significantly more scientific conceptions than all other groups (Table 1). Freshmen from other academic fields displayed significantly more scientific conceptions than 10<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> graders, whereas the latter groups did not differ significantly from one another. Natural science students expressed significantly fewer alternative conceptions than 10<sup>th</sup> graders and students of other academic studies.

Students' age yielded a significant negative effect on the expression of scientific conceptions in both questions but no effect on the expression of alternative conceptions (Table 1). We found no significant effect of sex on the expression of scientific and alternative conceptions in any model (Table 1) with one exception in Question B, where female natural science students provided significantly ( $p = 0.03$ ) more alternative conception (in sum) than males (S3 Table).

### Determinants of co-existence of conception

Both cluster analysis approaches revealed congruently two clear clusters in both questions (Fig 1). Ward's method and k-mean procedure for question A yielded a coefficient of contingency of  $C = .82$  (with  $C_{\max} = .83$ ,  $n = 885$ ,  $p < .001$ ) whereas question B had a coefficient of contingency of  $C = .50$  (with  $C_{\max} = .83$ ,  $n = 885$ ,  $p < .001$ ). In question A one alternative conception "food" and all scientific conceptions ("Minerals", "CO<sub>2</sub>", "Light & sunshine" and "H<sub>2</sub>O") except one were assigned to cluster 1. Cluster 2 consisted of one scientific conception ("O<sub>2</sub>") and all alternative conceptions ("Fresh air", "Nutrients taken from soil", "Warmth", "Other alternative concepts" and "Conservation") except one. For question B four out of six scientific conceptions ("Lignification", "New layer of wood", "Celluloses (chemical process)", and "Photosynthesis") were found in cluster 1 while all alternative conceptions ("Other alternative concepts", "H<sub>2</sub>O & minerals", "Deposit and stratification", "Assimilation of nutrient and soil" plus "Converting of nutrients taken from soil",) mixed with two scientific conceptions ("Light & sunshine" and "With energy") were located in cluster 2 (Fig 1).

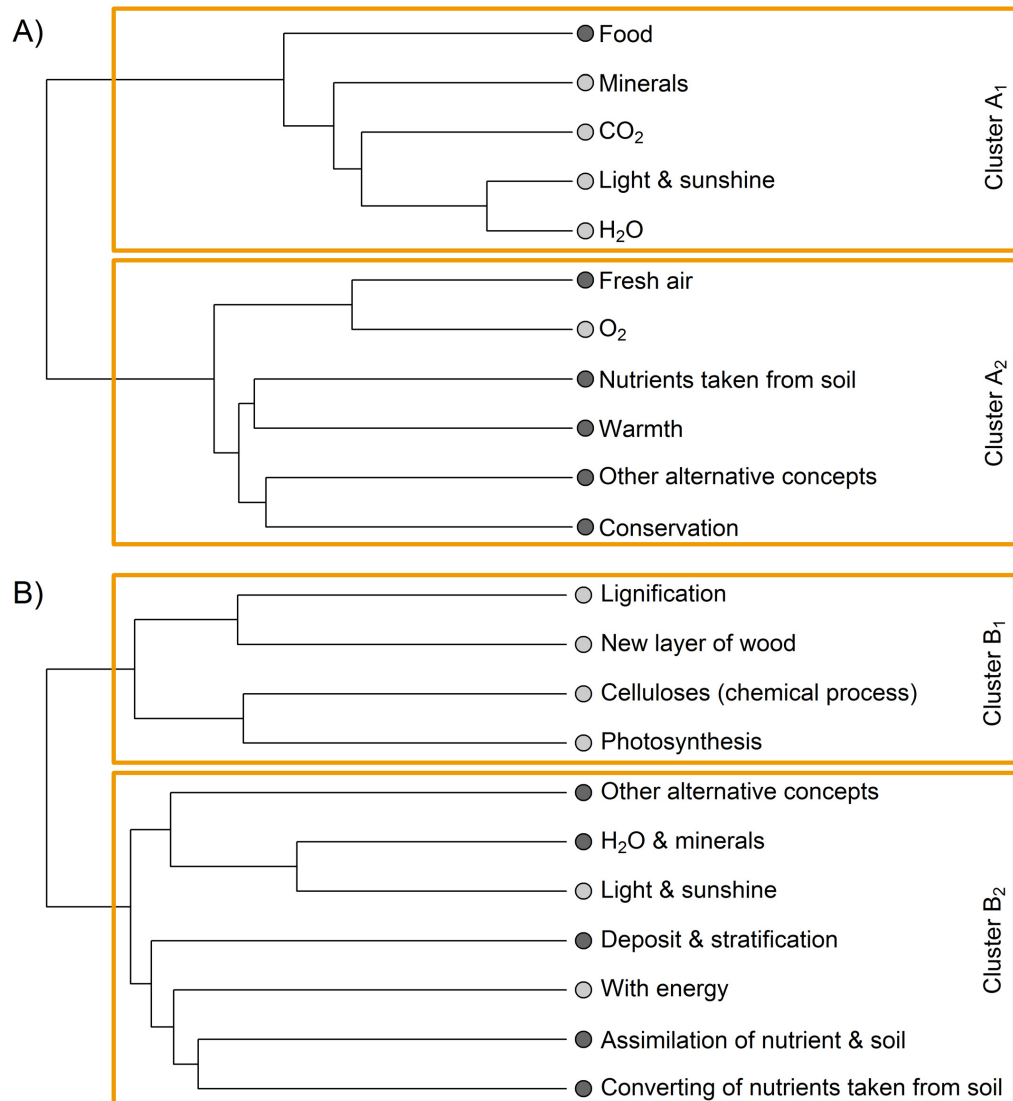
Older students provided significantly fewer fragmented conceptions than younger students in question A. 6<sup>th</sup> graders provided significantly more co-existing conceptions than 10<sup>th</sup> graders and students of other academic studies. Natural science students displayed a more fragmented knowledge profile than students from other studies. Female students had more co-existing conceptions than male students in question A. However, we found no significant effects of educational background or age within question B (Table 2).

### Different presence of scientific and alternative conceptions within the two questions

Independent of educational background, significantly more scientific conceptions were present in question A compared to question B (S4 Table). Freshmen of natural sciences and other academic studies displayed significantly more alternative conceptions in question A than in question B. 10<sup>th</sup> graders provided more alternative conceptions in A than in B while 6<sup>th</sup> graders showed no significant difference in the expression of alternative conceptions (Fig 2 and S4 Table).

### Discussion

Our study demonstrated that scientific and alternative conceptions can co-exist in the framework of tree assimilation, photosynthesis and wood synthesis. Furthermore, older students and students with advanced educational background expressed fewer alternative conceptions, resulting in a more integrated knowledge profile, which is in line with previous studies. For



**Fig 1. Cluster analysis (based on ward's method and k-mean procedure) for co-existence of scientific (light grey) and alternative (dark grey) conceptions (N = 885).**

doi:10.1371/journal.pone.0147802.g001

**Table 2. Co-existence of scientific and alternative conceptions in dependence of educational background (6<sup>th</sup> graders, 10<sup>th</sup> graders, natural science freshmen, and other academia studies freshmen), sex and age; based on binomial-linear models and pre-defined model contrast for multiple comparisons among educational backgrounds (n = 885).**

	Question A				Question B			
	Estimate	± SD	t-value	p-value <sup>a</sup>	Estimate	± SD	t-value	p-value <sup>a</sup>
Sex [male—female]	-0.28	0.14	-1.99	<b>0.05</b>	-0.07	0.16	-0.47	0.64
Age	-0.12	0.04	-3.48	<b>0.00</b>	-0.03	0.04	-0.75	0.45
10 <sup>th</sup> graders—Other studies	0.24	0.32	0.74	0.88	-0.10	0.32	-0.31	0.99
6 <sup>th</sup> graders—Other studies	-0.94	0.34	-2.74	<b>0.03</b>	-0.35	0.37	-0.95	0.77
Natural science—Other studies	-0.49	0.17	-2.95	<b>0.02</b>	-0.17	0.19	-0.93	0.78
6 <sup>th</sup> graders—10 <sup>th</sup> graders	-1.18	0.30	-3.89	<b>&lt;0.001</b>	-0.25	0.30	-0.84	0.83
Natural science—10 <sup>th</sup> graders	-0.73	0.32	-2.26	0.10	-0.07	0.32	-0.23	1.00
Natural science—6 <sup>th</sup> graders	0.45	0.35	1.29	0.55	0.18	0.38	0.47	0.96

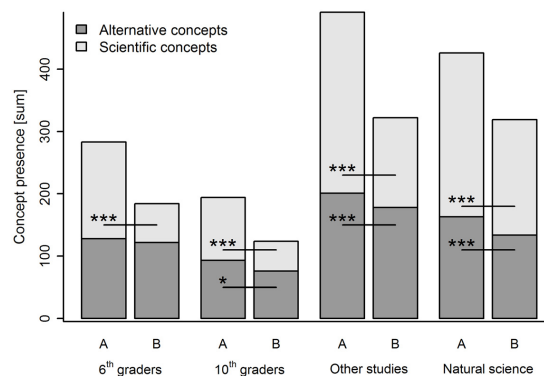
<sup>a</sup>adjusted p values reported (single-step method), significant p-values marked bold

doi:10.1371/journal.pone.0147802.t002

example Liu and Lesniak [32] demonstrated that students’ conceptions of composition of substances integrates from “macroscopic to microscopic” from 1<sup>st</sup> to 10<sup>th</sup> grade. Thus, older and higher educated students provide more microscopic explanation.

### Education fosters accumulation of scientific conceptions

Bledsoe [33] explained a “learning sequence” in which decreasing alternative conceptions occur in as students’ understanding develops. Therefore, we might expect an increase in scientific conceptions parallel to age and education. This seems true for question A as age was a determining factor and more scientific conceptions were found with increasing educational levels except for both freshman populations. An explanation for the missing differences between natural science freshman and other academic studies freshman might originate in the phenomenon called plant blindness [34]. Schussler and Olzak [35] showed that even college



**Fig 2. Presence of scientific and alternative conceptions divided by questions and educational backgrounds (N = 885, based on GLM, concepts as command variable with educational background, sex and age as random factor, for multiple comparison adjusted significance levels are marked by \* <0.05, \*\* <0.01, \*\*\* <0.001 above lines, for exact p-values see S4 Table).**

doi:10.1371/journal.pone.0147802.g002



students enrolled in botany classes exhibit this phenomenon of ignoring plants within the individual concept architecture. Since the 1980s teachers have been aware of the difficulty of teaching photosynthesis, and therefore they regard photosynthesis as the most important topic [36]. Due to difficulty and importance the topic is constantly implemented within 6<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> grades as well as senior classes and higher education syllabi. Therefore, repeated attention to the topic might lead to a higher expectation for the integration of scientific conceptions following increasing educational levels and age, respectively. Our data suggest a similar pattern as natural science students provided significantly more scientific conceptions than all the other groups, while freshmen from other academic fields expressed significantly more scientific conceptions than 6<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> graders.

Concrete reasons for the different patterns should be investigated further in more qualitative studies using interviews. However, we can propose some reasons based on previous research.

Finley and colleagues demonstrated knowledge to be forgotten when it was gained due to pure memorising efforts made to properly pass exams [36]. Ekici and colleagues reason students to be memorising the chemical equation of photosynthesis without understanding the underlying biological principles [37]. Both studies suggest a possible explanation for the similar scoring of our 6<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> graders who did not differ significantly within the expression of scientific conceptions. The groups are likely to have forgotten their old knowledge about photosynthesis which they learnt in the 6<sup>th</sup> grade as it was not needed until 10<sup>th</sup> which apparently yielded a lack of engagement with the topic that could have formed a deeper understanding.

Our university freshmen, however, were confronted more often with the correct scientific understanding of photosynthesis during their educational life leading to the integration of more scientific conceptions. As expected, natural science students provided more specific and detailed information, for example including enzymes within the process of photosynthesis and wood synthesis, but like all other groups often lacked a meaningful and general view which is in line with existing literature [37–39].

We could not find any significant effect of sex on expression of conceptions, except that female natural science students provided a higher number of alternative conceptions than males (S3 Table). The literature reports gender differences in language use “in form, topic, content and function” [37] (p.116): Females often tend to use more words implying their opinion, “while men tend to orientate to its referential function” [38] (p.30). That indicates why in our case, we found females to enumerate more alternative concepts than males only in that special case. “In sum scores, boys had a larger score variance in total general knowledge and most domains, with exceptions in [...] Biology [...] where girls had a larger score variance” [40]. Tran and colleagues concluded that differences in knowledge of biology between sexes are inconsistent while overall there was no evidence for biologically differentiated interests between female and male students. They also suggested that “previous research likely overestimated sex differences in general knowledge” [40].

#### Fragmented knowledge profiles: “Trees live on soil and sunshine!”

Despite our educational subgroups being increasingly taught scientific information, the presence of alternative conceptions remained almost untouched. This discrepancy is in agreement with Sinatra et al. [41] who depicted naïve positions as coexisting with scientific understanding. This phenomenon results from the nature of alternative conception which are regarded as being resistant to change and thus difficult to overcome by traditional methods [42]. The majority of study participants held scientifically correct concepts about substances which a tree needs to assimilate from its environment (question A), but these occurred along with

alternative ones, as the individual statement ‘trees live on soil and sunshine!’ highlights. The correct scientific conception “sunshine” (needed for photosynthesis) is nested within one cluster (A1, question A) together with the alternative conception “food” and other scientific conceptions. Consequently, a fragmented knowledge profile exists which is congruent with our Cluster A2 (question A) as it comprises the scientific conception “O<sub>2</sub>” in parallel with the alternative conception “nutrients taken from soil”. The alternative concept that “food is needed to grow” is a well-known alternative conception within literature [20,22,33,38]. Students tend to see plants as dependent on humans and even as inferior [38]. Based on their experience “food” is needed for human and animal life, which probably leads to the conception of plants being dependent on “food” from the environment [22] which especially the younger students refer to as “food” [33]. Even 8<sup>th</sup> graders often state that “plants get their food from their environment as animals do” [35] (p.115). Students mentioned oxygen which is needed for respiration and energy generation to power photosynthesis as an endergonic process. Interestingly, younger students seemingly do not differentiate between “O<sub>2</sub>” and “fresh air” as these two conceptions occur within one single clade. However, whether oxygen was mentioned due to humanisation or to other reasons cannot be distinguished. Probably the first aspect was on hand in most cases as will be concluded when taking question B into account later. The alternative conception “conservation” in question A emphasises students’ assumption about plants relying on man. “Warmth” and “fresh air” presumably testify to analogies which students drew from their own experiences by transferring these views to plant life.

Regarding question B the first cluster (B1) can be described as a “scientific” cluster, consisting of sophisticated concepts which lead to a correct explanation of wood synthesis. This cluster was dominantly but not exclusively provided by natural scientists. Cluster B2 can be described as a “fragmented cluster” which comprises a mixture of scientific and alternative conceptions. Beyond two scientific conceptions and four other alternative conceptions, “assimilation of nutrition and soil”, a prominent alternative conception, is part of this cluster. This conception is well-known in the literature. Students of the “fragmented” cluster apparently are not able to approach the biological topic of plants on a more chemical basis, although energy is specifically mentioned as a concept. This is in line with Stavy et al. [38] who accounts for students’ difficulty explaining biological phenomena from a chemical perspective as “students try to construct a coherent and logical [...] view of the world from limited knowledge they possess” (p.110) about photosynthesis and related processes. It appears that students tend to reorganise their knowledge only within one domain but not across different fields. Additionally our study demonstrated that older students had less fragmented knowledge than younger, meaning less co-existence of alternative and scientific conceptions. Interestingly, in question A, natural science students had a higher co-existence of the two different conceptions than other academic studies (Table 2). One reason probably is that natural scientists enumerated all scientific correct answers they knew due to their education but additionally provided all alternative concepts they ever had. In question B, we detected no differences between the educational backgrounds. This finding suggests that alternative conceptions are very hard to overcome [42] and instead of replacing alternative conceptions with scientifically correct ones, students keep both. Our results as well as the existing literature support the coexistence of different conceptions. This process of generating knowledge, meaning learning scientifically correct concepts whilst keeping the alternative ones, was previously described by Vosniadou and Ortony [43]. All subgroups featured uniform alternative conceptions probably because these “worked” in their everyday lives as described by Bledsoe [33]. This is in line with Schneider and Hardy [7] who described “clear evidence for the coexistence of inconsistent pieces of knowledge in learners” (p.1647), which is confirmed by our findings. These co-existing conceptions highlight the need to support students in reorganising their accumulated knowledge.

### Complexity fosters understanding

All students, irrespective of educational background, provided significantly more scientific conceptions in question A than in question B. This is possibly caused by the complexity of question B, which focused on a deeper understanding of the biological wood synthesis process in contrast to the more basic question A which focused on enumerating factors of tree assimilation. The two freshman populations and the participating 10<sup>th</sup> graders provided significantly more alternative conceptions in question A than in B while we did not find any significant difference within 6<sup>th</sup> graders. One reason could be the varying complexity of both questions: whereas question A requires enumeration of important substances, question B needs a deeper understanding. Consequently, older students may have named just everything they knew in question A while in question B they tended to reject any answer or provided the statement “I don’t know”. In contrast, our sampled 6<sup>th</sup> graders did not hesitate to creatively explain their understanding of wood synthesis using alternative conceptions as they had in question A.

### Photosynthesis challenges biological education

Difficulties in understanding photo-autotrophy have been known since the 1980s [38] revealing, amongst others, the alternative conception “nutrition taken from soil”. Students still express a need for “food” from soil in connection with photosynthesis nowadays, despite numerous classroom efforts in the past. Carlson [39] describes teachers as teaching according to their own conceptual understanding which can differ from a scientifically correct one. Thus, students’ alternative conceptions just echo a teacher’s understanding [44]. As students of the 1980s nowadays are likely to serve as in-service teachers, alternative conceptions of the 1980s can still be taught to the next generations. Hence further supporting mechanisms in teacher education are needed to restructure knowledge for appropriate teaching, particularly since even natural science freshmen displayed co-existence of both conception levels. However, repeatedly encountering photosynthesis during their education increased the expression of scientific conceptions by our participants, reflected in increasing expression of scientific conceptions among higher educational levels (Table 1). Nevertheless, daily life does not require understanding the complete interrelations of this thematic field. As Bledsoe [33] explains “knowing some elementary ideas” (p.31) is sufficient. It is stated that “[...] naïve theories survive the acquisition of a mutually incompatible scientific theory, coexisting with that theory for many years to follow.” [43] (p. 209). Consequently there seems to be no need to reorganise existing knowledge structures even for natural scientists. Against this background it is crucial to see if scientists who are working in the field of photosynthesis still hold some alternative conceptions. As Shtulman and Valcarel [45] found, people experienced in science and under time-pressure are slow to verify naïve statements. On the other hand, Masson et al. [46] detected neurological reasons for the inhibition of alternative conceptions by scientific experts. Thus Sinatra et al. [41] highlights that even well-trained scientists are not immune to hold alternative conceptions. Consequently, student-tailored interventions are needed to promote a conceptual change within our sample. Effective ways are student-centred, hands-on experiences or concept cartoons which confront students directly with their alternative conceptions [7,22,37,47]. Providing further support in a “real-world context” would be promising as well as student’s conceptions are context- and even situation-specific [48].

### Conclusions

Despite significant research effort to improve teaching strategies has been undertaken since the 1980s, scientific and alternative conceptions still co-exist in students’ minds. Throughout our analysis, educational background was the most important determinant for increasing scientific

conceptions and fosters accumulation of scientific concepts. Nevertheless, even science students kept some alternative conceptions although they knew the correct scientific ones. Hence our data suggest that teaching of photosynthesis and wood assimilation should be repeated along ascending educational levels to foster understanding and overcome alternative conceptions. Such repeated teaching should not only take place in classrooms, but also in university courses to strengthen future teachers' scientific conceptions, which will then be transferred to learners.

### Supporting Information

**S1 Table. Sample description class-divided according to educational background (n = 885).** (DOCX)

**S2 Table. Categories per level of conception within question A and B.** (DOCX)

**S3 Table. Sex Effect on scientific and alternative concepts.** (DOCX)

**S4 Table. Conception levels in comparison between question A and B.** (DOCX)

### Acknowledgments

We are grateful to all participants who supported this study by answering our questionnaire. We thank Richard Beggs for linguistic revision of the manuscript. Financial support was granted by the Open Discovery Space Project funded by European Union CIP PSP Grant Agreement No. 297229 and the University of Bayreuth. This publication was funded by the German Research Foundation (DFG) and the University of Bayreuth in the funding program Open Access Publishing

### Author Contributions

Conceived and designed the experiments: CJT KB. Performed the experiments: CJT KB. Analyzed the data: CJT KB ST. Contributed reagents/materials/analysis tools: CJT KB ST. Wrote the paper: CJT KB ST FXB.

### References

1. Piaget J. La construction du réel chez l'enfant. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé. 1937; 311.
2. Driver R, Asoko H, Leach J, Scott P, Mortimer E. Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educ Res.* 1994; 23: 5–12.
3. Maskiewicz AC, Lineback JE. Misconceptions are "so yesterday!" *CBE Life Sci Educ.* 2013; 12: 352–356. doi: [10.1187/cbe.13-01-0014](https://doi.org/10.1187/cbe.13-01-0014)
4. Vosniadou S, Skopelliti I. Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence. *Sci Educ.* 2013; 1–19. doi: [10.1007/s11191-013-9640-3](https://doi.org/10.1007/s11191-013-9640-3)
5. diSessa AA, Gillespie NM, Esterly JB. Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cogn Sci.* 2004; 28: 843–900.
6. Machery E. Précis of doing without concepts. *Behav BrainSci.* 2010; 33: 195–206.
7. Schneider M, Hardy I. Profiles of inconsistent knowledge in children's pathways of conceptual change. *Dev Psychol.* 2012; 49: 1639–1649. doi: [10.1037/a0030976](https://doi.org/10.1037/a0030976) PMID: [23231685](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23231685/)
8. Straatemeier M, van der Maas H. L. J. Jansen BRJ. Children's knowledge in the earth: A new methodological and statistical approach. *J Exp Child Psychol.* 2008; 100: 276–296.
9. Thaden-Koch TC, Dufresne RJ, Mestre JP. Coordination of knowledge in judging animated motion. *Phys Educ Res.* 2006; 2: 1–11.

10. Strike KA, Posner GJ. A conceptual change view of learning and understanding. *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Orlando, FL: LHTWest and AL Pines, Press, Academic; 1985. pp. 189–210.
11. Hammer D. More than misconceptions: multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *Am J Phys*. 1996; 64: 1316–1325.
12. Smith J, DiSessa A, Rochelle J. Misconceptions reconceived: a constructivist analysis of knowledge in transition. *J Learn Sci*. 1993; 3: 115–163.
13. Bahar M. Misconceptions in biology education and conceptual change strategies. *Educ Sci Theory Pract*. 2003; 3: 55–64. Available: <https://edam.com.tr/kuyeb/pdf/en/a046f2fec0a830f47a32cf69a0385f80haring.pdf>
14. Abraham JK, Perez KE, Downey N, Herron JC, Meir E. Short lesson plan associated with increased acceptance of evolutionary theory and potential change in three alternate conceptions of macroevolution in undergraduate students. *CBE Life Sci Educ*. 2012; 11: 152–64. doi: [10.1187/cbe.11-08-0079](https://doi.org/10.1187/cbe.11-08-0079) PMID: [22665588](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22665588/)
15. Anderson DL, Fisher KM, Norman GJ. Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. *J Res Sci Teach*. 2002; 39: 952–978.
16. Hokayem H, BouJaoude S. College students' perceptions of the theory of evolution. *J Res Sci Teach*. 2008; 45: 395–419.
17. Nehm RH, Schonfeld IS. Measuring knowledge of natural selection: a comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. *J Res Sci Teach*. 2008; 45: 1131–1160.
18. Andrews TM, Price RM, Mead LS, McElhinny TL, Thanukos A, Perez KE, et al. Biology undergraduates' misconceptions about genetic drift. *CBE-Life Sci Educ*. 2012; 11: 248–259. doi: [10.1187/cbe.11-12-0107](https://doi.org/10.1187/cbe.11-12-0107)
19. Kalinowski ST, Andrews TM, Leonard MJ, Snodgrass M. Are Africans, Europeans, and Asians different "races"? A guided-inquiry lab for introducing undergraduate students to genetic diversity and preparing them to study natural selection. *CBE-Life Sci Educ*. 2012; 11: 142–151. doi: [10.1187/cbe.11-09-0087](https://doi.org/10.1187/cbe.11-09-0087)
20. Haslam F, Treagust DF. Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *J Biol Educ*. 1987; 21: 203–211.
21. Stavy R, Eisen Y, Yaakobi D. How students aged 13-15 understand photosynthesis. *Int J Sci Educ*. 2007; 9: 105–115. doi: [10.1080/0950069870090111](https://doi.org/10.1080/0950069870090111)
22. Braun T. & Schrenk M. Effects of Experiments for Students' Understanding of Plant Nutrition. Krüger D, Ekborg M, editors. *Research in Biological Education A selection of papers presented at the IXth Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB)*. Berlin: Freie Universität Berlin; 2012.
23. Mayring, P. Combination and Integration of Qualitative and Quantitative Analysis. In: *Forum Qualitative Social Research 2* [Internet]. 2001 [cited 1 Oct 2014]. Available: <http://www.qualitative-research.net/fqs/fqs.htm>
24. Cohen J. A coefficient for agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas*. 1960; 20: 37–46.
25. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977; 33: 159–174. doi: [10.2307/2529310](https://doi.org/10.2307/2529310) PMID: [843571](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/843571/)
26. Norusis MJ. *SPSS for Windows professional statistica release 6.0*. Chicago: SPSS; 1993.
27. Anderberg MR. *Cluster analyses for applications*. New York: Academic; 1973.
28. Tibshirani R, Walther G. Cluster Validation by Prediction Strength. *J Comput Graph Stat*. 2005; 14: 511–528.
29. Agresti A. *Categorical Data*. second. Wiley; 2002.
30. Hothorn T, Bretz F, Westfall P. Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*. 2008. pp. 346–363. doi: [10.1002/bimj.200810425](https://doi.org/10.1002/bimj.200810425) PMID: [18481363](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18481363/)
31. McCullagh P, Nelder J. *Generalized linear models (Monographs on statistics and applied probability 37)*. lavoisier.fr. 1989; Available: <http://www.lavoisier.fr/notice/gbYNOOXLRy23DRKO.html>
32. Liu X, Lesniak K. Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *J Res Sci Teach*. 2006; 43: 320–347. doi: [10.1002/tea.20114](https://doi.org/10.1002/tea.20114)
33. Bledsoe KE. "Starch is Very Fatty": Understanding the Logic in Undergraduate Student Conceptions about Biological Molecules. *Electron J Sci Educ*. 2013; 17: 1–35.
34. Bozniak EC. Challenges facing plant biology teaching programs. *Plant Sci Bull*. 1994; 40: 42–46.
35. Schussler EE, Olzak L a. It's not easy being green: student recall of plant and animal images. *J Biol Educ*. 2008; 42: 112–119. doi: [10.1080/00219266.2008.9656123](https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656123)
36. Finley Fred N., Stewart James, Yaroch WL. Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Sci Educ*. 1982; 66: 531–538.

## 4.3 Teilstudie B *Environmental Literacy*-Modell

Elsevier Editorial System(tm) for Journal of  
Environmental Psychology  
Manuscript Draft

Manuscript Number: JEP-15-471

Title: Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and  
Knowledge

Article Type: Full Length Article

Keywords: competence model; path analysis; climate change; ecological  
behavior; Appreciation towards Nature; Preservation

Corresponding Author: Mrs. Kerstin Bissinger,

Corresponding Author's Institution: University of Bayreuth

First Author: Kerstin Bissinger

Order of Authors: Kerstin Bissinger; Franz X Bogner, Professor Dr.

Abstract: Individual environmental competencies are basic requirements to empower individuals in coping with local and global challenges. These competencies belong to complex domains that include knowledge, attitudes, values and behavior. Recent research has identified several determinants for pro-ecological behavior, namely system-, action- and effectiveness-related knowledge (SYS, ACT, EFF) and appreciative attitudes towards nature (APP) within one competency model. Other variables, however, are also expected to contribute to pro-ecological behavior, such as the two major environmental values (2-MEV, comprising Preservation and Utilization) as well as the inclusion of nature in one's self concept (INS). Unlike psychometrically well-established scales such as attitudes and behavior, the knowledge variable must always be linked to taught contents, requiring in turn specially written ad-hoc item-sets. In each educational setting it is always important to analyze the knowledge items' fit to the earlier described competence model. Based on 321 tenth graders' responses to four established scales (2-MEV, GEB, INS, APP) and a 30 item ad-hoc battery (focusing on climate change and tropical rainforests), we applied a path modeling approach to analyze interrelationships between ecological behavior, attitudes and cognitive knowledge. Action- and effectiveness-related knowledge are shown to correlate with individual attitudes, however not with ecological behavior. Preservation acted as an important connector in linking knowledge, behavior and attitudes (representing appreciative and exploitative tendencies). In conclusion, the model highlights the interrelation of environmental attitudes and pro-environmental behavior, with the knowledge taught within an interventional module playing an auxiliary role. Our well-fitting model is quite similar to the established one, expanding it by additional variables including an individual knowledge item set. Consequently, the theoretical environmental literacy model has the potential for both, the model's extension and content alignment.

Suggested Reviewers: Jelle Boeve-de Pauw  
researcher, University of Antwerpen  
Jelle.Boeve-dePauw@uantwerpen.be

#### 4.3. TEILSTUDIE B *ENVIRONMENTAL LITERACY*-MODELL

working on the field of attitudes

Bruce Johnson  
Dean, University of Arizona  
brucej@email.arizona.edu  
has been working on the field of attitudes for many years.

Opposed Reviewers:

## KAPITEL 4. TEILSTUDIEN

### \*Title Page (including author names)

Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

**Title:** Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

**Authors:** Kerstin Bissinger<sup>a\*</sup> & Franz X. Bogner<sup>a</sup>

**Affiliation:** <sup>a</sup> Department of Biological Education, Centre of Math and Science Education  
(Z-MNU), NW-1, University of Bayreuth, Universitätsstr. 30, 95447 Bayreuth, Germany

**Email:** \*corresponding author [Kerstin.Bissinger@uni-bayreuth.de](mailto:Kerstin.Bissinger@uni-bayreuth.de)

Co-author: Franz.Bogner@uni-bayreuth.de

**Corresponding author:** Kerstin Bissinger, kerstin.bissinger@uni-bayreuth.de

**Number of Figures:** 4

**Number of Tables:** 2

**Number of Words:** (3676; excludes abstract (279), References(1085))

**Keywords:** competence model, path analysis, climate change, ecological behavior  
Appreciation towards Nature, Preservation



### 4.3. TEILSTUDIE B *ENVIRONMENTAL LITERACY*-MODELL

\*Manuscript (without author names)

[Click here to view linked References](#)

Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

**Abstract:** Individual environmental competencies are basic requirements to empower individuals in coping with local and global challenges. These competencies belong to complex domains that include knowledge, attitudes, values and behavior. Recent research has identified several determinants for pro-ecological behavior, namely system-, action- and effectiveness-related knowledge (SYS, ACT, EFF) and appreciative attitudes towards nature (APP) within one competency model. Other variables, however, are also expected to contribute to pro-ecological behavior, such as the two major environmental values (2-MEV, comprising Preservation and Utilization) as well as the inclusion of nature in one's self concept (INS). Unlike psychometrically well-established scales such as attitudes and behavior, the knowledge variable must always be linked to taught contents, requiring in turn specially written ad-hoc item-sets. In each educational setting it is always important to analyze the knowledge items' fit to the earlier described competence model. Based on 321 tenth graders' responses to four established scales (2-MEV, GEB, INS, APP) and a 30 item ad-hoc battery (focusing on climate change and tropical rainforests), we applied a path modeling approach to analyze interrelationships between ecological behavior, attitudes and cognitive knowledge. Action- and effectiveness-related knowledge are shown to correlate with individual attitudes, however not with ecological behavior. Preservation acted as an important connector in linking knowledge, behavior and attitudes (representing appreciative and exploitative tendencies). In conclusion, the model highlights the interrelation of environmental attitudes and pro-environmental behavior, with the knowledge taught within an interventional module playing an auxiliary role. Our well-fitting model is quite similar to the established one, expanding it by additional variables including and an individual knowledge item set. Consequently, the theoretical environmental literacy model has the potential for both, the model's extension and content alignment.

## Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

### 1. Introduction

#### 1.1 Definition of environmental literacy and competency

Environmental literacy as a term originates from a newspaper article (Roth, 1968) written in response to the media-produced term “environmental illiterates” referring to environment-polluting individuals (Roth, 1992). Educators as well as politicians, journalists or scientists subsequently adopted the term into their vocabulary, despite the lack of a commonly agreed definition. In fact, the term’s usage occurred in various ways reflecting individual conceptions. Generally speaking, literacy refers either to the ability to read and write, or to education which comprises “extensive knowledge, learning or culture” (Roth, 1992, p.12). This rather general definition was later elaborated into environmental literacy (literate towards environmental issues), encompassing a continuum of competencies well beyond cognitive skills, including particular ways of thinking, acting and valuing competencies (Roth, 1992). Thereby, competency is considered to be the capacity for interaction with environments (White, 1959) and depends on individuals’ motives for enhancing and maintaining competency levels (De Young, 1996). Furthermore, objectives are a necessary precondition for competencies, as, according to Ribes (1990), the term competency implies the “possession of skills and abilities in response to a requirement” (p. 210). Skills and abilities are easily observable; for example turning off the light to save energy, riding a bicycle instead of driving a car, or cooking regional products instead of using convenience food with the aim of reducing greenhouse gases. In contrast, requirements which turn these skills into competencies are more difficult to depict as they are often socially constructed (Corral-Verdugo, 2002).

#### 4.3. TEILSTUDIE B *ENVIRONMENTAL LITERACY*-MODELL

##### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

###### *1.2 Previous research*

1  
2  
3 Long-term sustainability requires the adoption of pro-environmental behavior patterns: the  
4 identification of underlying cognitive, motivational and structural factors is crucial to  
5  
6 understand threats, causes and consequences regarding environmental sustainability (Steg &  
7  
8 Vlek, 2009). Although pro-environmental behavior is already integrated into modern society,  
9  
10 there is still potential to further strengthen underlying pro-environmental tendencies  
11  
12 (Bamberg & Möser, 2007, Pfattheicher, Sassenrath, & Schindler, 2015). Targeting this  
13  
14 endeavor requires detailed understanding both of potential triggering competencies and  
15  
16 measuring instruments to assess them and individual behavior.  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23

###### *1.2.1 GEB*

24  
25  
26 With the original aim to address the attitude/behavior gap, Kaiser, Oerke, & Bogner (2007)  
27  
28 adapted for adolescents a behavior-based attitude measurement instrument by using  
29  
30 behavioral self-reports, originally developed for adults (Kaiser, 1998). In total, 40 items were  
31  
32 developed representing six domains namely “Energy conservation”, “Mobility and  
33  
34 transportation”, “Waste avoidance”, “Recycling”, “Consumerism”, “Vicarious behavior  
35  
36 towards conservation”. The frequency of appropriate behaviors was assessed using a five-  
37  
38 point Likert scale, ranging from “very often” to “never”. Previous studies collapsed this scale  
39  
40 for analysis purposes to a dichotomous response pattern (e.g. Oerke & Bogner, 2011). By  
41  
42 applying different domains, the overall consumption pattern of a person can be analyzed  
43  
44 preventing participants to strategically improve their environmental behavior by depicting  
45  
46 social desirable items in only one domain. Furthermore, the assessment of environmental  
47  
48 attitudes and behaviors using such a scale becomes more specific rather than general by  
49  
50 prompting individuals to identify their position more accurately when it is linked to specific  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

behaviors. This questionnaire-design permitted measuring both attitude and goal-directed conservation behavior. The scale has subsequently been employed successfully within several studies (e.g. Geng, Xu, Ye, Zhou, & Zhou, 2015; Oerke & Bogner, 2011; Uitto, Boeve-de Pauw, & Saloranta, 2015).

#### 1.2.2 MEV

Bogner, Johnson, Buxner, & Felix (2015) described the endeavor to assess adolescent's and pre-adolescent's environmental values as "a complex and multifaceted task" which base itself on two prerequisites, namely "a commonly agreed theoretical basis" and "a psychometrically sound measurement instrument" (p.1). The bi-dimensional 2-Major Environmental Value scale (2-MEV), originally developed by Bogner & Wiseman (1999), is regarded a commonly agreed and repeatedly independently confirmed instrument (Borchers et al.; 2014Boeve-de Pauw & van Petegem, 2011; Johnson & Manoli, 2008; Milfont & Duckitt, 2004).

The 2-MEV scale involves "Utilization" (UTIL) and "Preservation" (PRES) as two orthogonal higher order factors (values) based on single item statements. Thereby, an individual attitudinal positioning independently for each factor is possible. A person can theoretically score high in environmental protection and simultaneously favor utilizing natural resources (Bogner & Wiseman, 2002). The scale consists of 20-items assessing preferences in preservation as well as utilization using a five-point Likert scale.

#### 1.2.3 Knowledge

Promoting cognitive knowledge is a major educational goal. Frick, Kaiser, & Wilson, (2004) have presented cognitive knowledge as a multidimensional construct comprising at least three dimensions, namely system- (SYS), action- (ACT) and effectiveness-related knowledge (EFF). System-related knowledge refers to factual knowledge about the environment reflecting an understanding of natural processes or interactions. Action-related knowledge, in

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

#### 4.3. TEILSTUDIE B *ENVIRONMENTAL LITERACY*-MODELL

##### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1 contrast, underlines an understanding of individual actions expected to leading to  
2 conservation and environmental preservation. Effectiveness-related knowledge completes  
3 this construct as it explains the effectiveness of the individual actions proposed within the  
4 context of action-related knowledge. Previous research describes the knowledge dimensions  
5 as interconnected and related to attitudes and behavior (Roczen et al., 2013).  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13

##### 1.2.4 Environmental literacy model

14  
15  
16 So far, models targeting pro-environmental behavior include psycho-social determinants  
17 (Bamberg & Möser, 2007; Pfattheicher et al., 2015; Takahashi & Selfa, 2014), individual  
18 motives and competencies (Corral-Verdugo, 2002), personality traits and values (Brick &  
19 Lewis, 2014), cognitive knowledge (Frick et al., 2004; Roczen et al., 2013) and attitudes  
20 towards nature (Brick & Lewis, 2014; Milfont & Duckitt, 2004). Kaiser et al. (2008)  
21 proposed a balanced model by integrating environmental knowledge, people's appreciative  
22 attitude towards nature (APP) and the behavioral variable measured by GEB. This model is  
23 based on ecology-specific abilities in contrast to traditional models that aimed to improve  
24 individual consumption patterns as the ultimate goal; the authors emphasize repeated  
25 "enjoyable experiences in nature, which in turn may lead to an emotional bond with nature"  
26 which probably is a "more practicable target for environmental education"(p.67).  
27  
28 Furthermore, the knowledge domain is expected to promote future behavior by strengthening  
29 a person's appreciation of nature. The proposed model was implemented by Roczen et al.  
30 (2013) with sixth, seventh, and eighth graders. The authors applied multidimensional  
31 knowledge comprising three categories (SYS. ACT, EFF) in relation to attitudes towards  
32 nature (APP, Brügger et al., 2011) and ecological behavior (GEB, Kaiser et al., 2007).  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58

##### 1.3 Objectives of this study

59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

Based on the model described by Kaiser, Roczen, & Bogner (2008), where cognitive competencies (knowledge) and ethical aspects (appreciative attitudes towards nature) were shown to predict pro-environmental behavior, the relation of environmental values (Preservation and Utilization) as well as inclusion in nature in one's self need detailed analysis. Therefore, we had three objectives:

- (I) Expanding the previous model by application of the 2-MEV-scale (Bogner & Wiseman, 1999, 2002, 2006; Kibbe, Bogner, & Kaiser, 2014; Wiseman & Bogner, 2003) and inclusion of nature in one's self scale (INS; Schultz, (2001) to address the attitudinal preferences.
- (II) Testing a program-specific knowledge scale in order to assess the knowledge items' fit to the environmental literacy model.
- (III) Improving the model's usability by reducing the item number as much as possible to implement it in outreach environments.

## 2. Methods

### 2.1. Data acquisition

Data acquisition is based on 321 10<sup>th</sup> graders (58% male, mean age = 15.8 years  $\pm$  SD=1.4 years) completing a questionnaire comprising four established scales (GEB, 2-MEV, INS, APP) as well as one ad-hoc knowledge battery of 30 items. Students completed the questionnaire during a regular lesson within the context of a learning program. All participating schools and participants (respectively their legal guardians) provided their consent for data acquisition.

### 2.2. Implemented scales

#### 4.3. TEILSTUDIE B ENVIRONMENTAL LITERACY-MODELL

##### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1 Appreciative attitudes (APP) were measured using 29 items developed by Brügger, Kaiser, &  
2 Roczen (2011), while behavior was assessed by the General Ecological Behavior (GEB) scale  
3  
4 (Kaiser et al., 2007), including four subscales: “mobility”, “consumerism”, “recycling” and  
5  
6 “vicarious behaviors toward conservation”. Knowledge was measured using multiple-choice  
7  
8 items, with one alternative of four being the correct response). By applying an intra- and  
9  
10 interrater approach, the affiliation of items to the three types of knowledge was confirmed,  
11  
12 leading to ten items each for SYS, ACT and EFF. As part of a learning program, the  
13  
14 knowledge items focused on tropical rainforest and climate change. However, all participants  
15  
16 responded prior to the learning program in order to avoid an influence. To guarantee  
17  
18 comparable item difficulty for the different domains we applied a dichotomous Rasch model  
19  
20 using QUEST (standard version). Item examples are shown in Supplement Table 1.  
21  
22  
23  
24  
25  
26

##### 2.3 Data Analysis

27  
28 For reasons of comparison, we collapsed the 5-digit Likert response patterns of GEB, APP  
29  
30 and 2-MEV and the 7-point INS scale to a trichotomous one to match the 3-point response  
31  
32 pattern of 19 APP items. We estimated path models describing latent variables by  
33  
34 implementing a partial least squares approach (Tenenhaus, Vinzi, Chatelin, & Lauro, 2005)  
35  
36 using R (version 3.2.1), using the function *plspm* from the corresponding package (*pls*pm  
37  
38 version 0.4.7.) defining all variables as possibly interrelated and creating paths for all  
39  
40 possible combinations of variables. Thereby we assigned the observed variables to the  
41  
42 respective latent variables. We examined model validation following the approach of Urbach  
43  
44 & Ahlemann (2010). Lack of unidimensionality led to the exclusion of several variables  
45  
46 yielding loadings below 0.4. Internal consistency was assessed by Dillon Goldstein’s Rho,  
47  
48 which is considered superior to Cronbach’s alpha as it considers results from the model (i.e.  
49  
50 the loadings) rather than the correlations observed between the manifest variables in the  
51  
52 dataset (Chin, 1998). Discriminant validity was analyzed by means of cross loadings. After  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

adjusting the latent variables we re-ran the model with the variables shown in Supplement

Table 2, applying the above described methodology.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

**4. Results**



### 4.3. TEILSTUDIE B ENVIRONMENTAL LITERACY-MODELL

#### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

Our items were distributed along students' capabilities as shown in the Wright map (Figure 1), where each X represents 2 cases. The students' capability ranges between plus two and minus three. Generally, students more likely provide the right answer if their capability is above the item difficulty represented by the item labels below the dotted line. Students possessing a capability of 0.00 have the theoretical potential to answer 50% of all questions correctly. In our sample the items were a little too easy. However, the knowledge domains were rather similarly distributed. After assessing model validation only the items in bold were retained within the final modeling approach.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

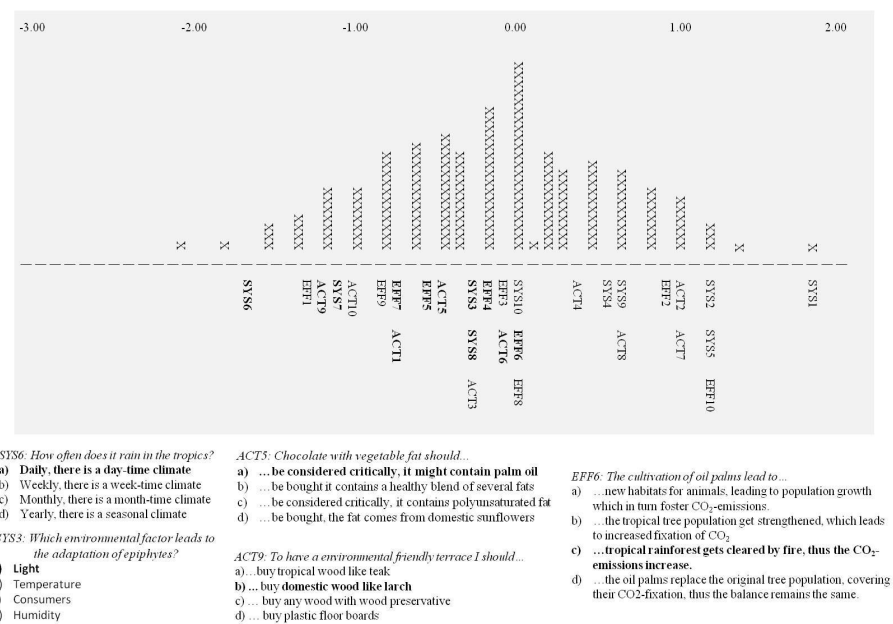


Figure 1: Wright map and example items evaluating the three knowledge domains. Students' capabilities range from -3.00 to 2.00. Each "X" represents two cases. Bold item labels represents items used within the final model approach.

Model validation provided satisfactory results: All items showed loadings above 0.40, no cross-loadings exceeding this score were present, hence we assume unidimensional latent variables. All variable loadings were higher for their designated latent variable than for any

### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

other, proving discriminant validity. Internal consistency reliability was assessed using Dillon Goldstein's Rho values which ranged from 0.7 for SYS, ACT, EFF, Preservation and Utilization to 1.0 for INS with the remaining variables in between (GEB=0.8, APP=0.9). The adjustment of the model required exclusion of observed variables (items) mostly in the knowledge domain. Compared to our original dataset we retained 40% of SYS- and EFF-items, 50% of ACT-items, 55% of GEB-items, 60% of Utilization-items, 65% of APP-items and 70% of Preservation-items. Focusing on mean-scores, our participants scored above average for Preservation and Utilization, whereas GEB, APP and INS scores were below average (Figure 3). Focusing on environmental knowledge, we found above average scores for all three dimensions, with SYS yielding the highest and EFF the lowest score (Figure 3). However, the standard deviation was rather large, emphasizing the heterogeneous students' capability presented in Figure 1.

### 4.3. TEILSTUDIE B ENVIRONMENTAL LITERACY-MODELL

#### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

Our approach led to a model characterized by 13 relevant paths (Figure 4) describing the interrelation of the variables. General ecological behavior is directly related to almost all environmental attitudes with the exception of INS, while APP and PRES induce both huge effects. Knowledge is not directly related to behavior but to the environmental attitudes through the relation between ACT with PRES and UTIL (medium effect) as well as through the relation of EFF with INS (medium effect). System-related knowledge, however, exerts only a medium effect on the other knowledge domains. Finally, INS is related to APP in a medium manner but neither to PRES nor to UTIL. The latter, in turn, are correlated with each other and to APP both showing high effects differing in algebraic signs. Preservation is positively, UTIL is negatively related to APP.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

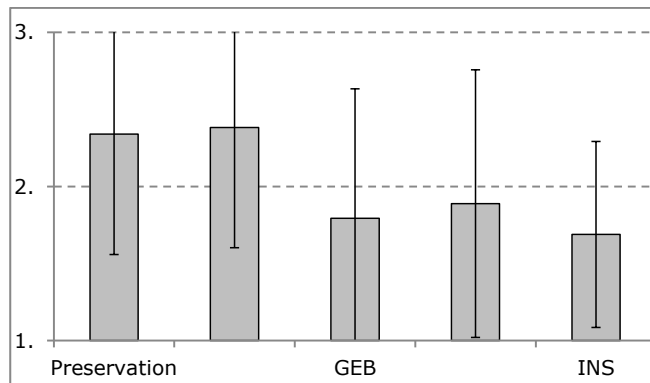
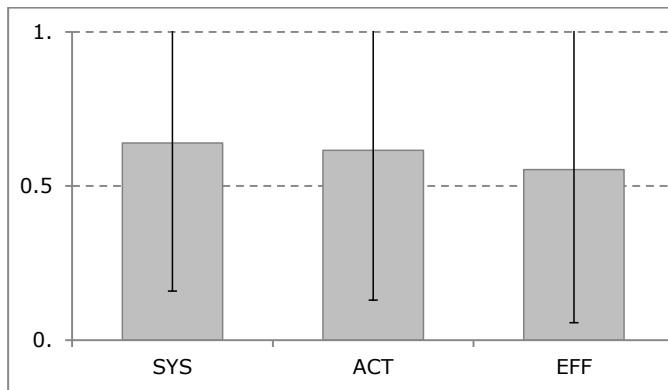


Figure 2: Mean scores for MEV and GEB sub-scales. Error bars indicate SD.



# KAPITEL 4. TEILSTUDIEN

## Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

Figure 3: Mean-scores of KN-domains, error bars indicate SD. Our students held slightly more than medium KN levels for EFF and ACT and SYS

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

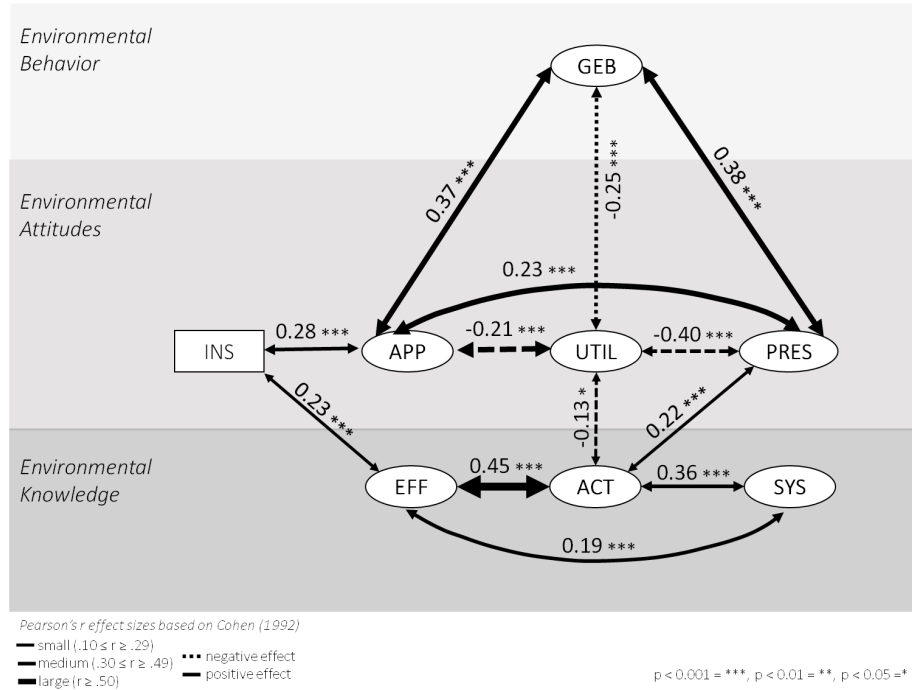


Figure 4: Environmental literacy model. Only significant interrelations are presented depicting action- and effectiveness related to foster environmental attitudes whereas ecological behavior is not directly related to knowledge but influenced by environmental attitudes. Preservation is an important connector linking action knowledge, behavior and environmental attitudes.

## 4. Discussion

### 4.1 Main findings

Our enlarged model shows 13 paths reflecting significant interrelations. We proved ACT and EFF as predicting variables to promote environmental attitudes. However, ecological behavior seemingly does not directly relate to knowledge but rather to environmental attitudes. Preservation and UTIL are important connecting variables linking together ACT, behavior and environmental attitudes. Similarly, INS predicts the knowledge and attitude domains. As expected, APP is closely related to all environmental attitudes and behavior. Our

#### 4.3. TEILSTUDIE B *ENVIRONMENTAL LITERACY*-MODELL

##### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1 extension of the original Roczen et al. (2013) model leads to some differences. Probably, due  
2 to the additional variables and/or to the individual knowledge-item set there are three missing  
3 as well as some additional paths: Paths between EFF and APP, SYS and APP as well as ACT  
4 and GEB are missing, highlighting behavior as not directly related to the knowledge domain.  
5 Furthermore, SYS seems to play a rather auxiliary role within the knowledge domain set.  
6  
7 Nevertheless, connections between the three knowledge variables and the other paths related  
8 to APP and SYS were quite similar pointing to a promising structure which needs detailed  
9 discussion.  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19

##### 5.2 Attitudes, Behavior & Knowledge

20  
21  
22 A direct relation between environmental attitudes and the predisposition for ecological  
23 behavior is apparent, while knowledge appears not to induce behavior directly. Additionally,  
24 paths between APP and SYS as well as EFF seemingly do not exist, contradicting the  
25 postulation of Roczen et al. (2013). The most probably explanation lies in the ad-hoc item-  
26 sets of our knowledge domains. Every educational intervention requires a different set of  
27 items (as they always need to match the educational intervention; here, tropical rainforest and  
28 climate change), each time it consequently needs assurance within the thematic context. Our  
29 model validation originally contained about double the knowledge items, half with  
30 suboptimal loading patterns on the latent variables (which led to their exclusion). Our  
31 original item number set was thus reduced from 30 to 13. The final item selection was  
32 therefore based on psychometric criteria. Regarding the knowledge levels, our students  
33 yielded similar levels for all three knowledge domains.  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52

53 The major difference of our study to the previous one described above is the focus on the  
54 main topic of climate change and tropical rainforest. Roczen et al. (2013) had examined a  
55 more general view covering all domains like energy, ozone, water, recycling and many  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1 others. The different path behavior of our knowledge domains might originate in the  
 2 modules' contents, where a personal connection or relevance of SYS exists but is not obvious  
 3  
 4 for students without corresponding intervention. Thus, ACT and EFF might provide more  
 5  
 6 linking options due to higher obvious personal relevance and thus influence attitudes. We  
 7  
 8 also implemented shortened versions of GEB and APP while introducing new components  
 9  
 10 (MEV and INS) which might have influenced the interrelations within the model. The  
 11  
 12 interactions of the new components might be more significant than the formerly known ones.  
 13  
 14 However, there are several congruencies between Roczen et al.'s (2013) finding and our  
 15  
 16 model: Firstly, the connections between the three knowledge variables are confirmed in our  
 17  
 18 model. All knowledge domains are interconnected. Secondly, APP and GEB are related to  
 19  
 20 each other. Thirdly, factual knowledge represented by SYS fails to predict behavioral  
 21  
 22 changes which is in line with Frick et al. (2004) and Roczen et al. (2013). Action- and  
 23  
 24 effectiveness-related knowledge, in contrast, can influence behavior indirectly by fostering  
 25  
 26 environmental attitudes. This is in accordance with Gifford (2014) who pointed out that pro-  
 27  
 28 environmental choices depend on correct knowledge. Furthermore, indirect influence of EFF  
 29  
 30 on behavior supports the "doubtful" nature of a direct relation between EFF and behavior  
 31  
 32 proclaimed by Frick et al. (2004; p.1609). Although more educated persons are more  
 33  
 34 concerned about nature education, knowledge acquisition alone is no guarantor for pro-  
 35  
 36 environmental behavior (Gifford, 2014).  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45

46  
 47 5.3 Linking attitudes  
 48

49  
 50 Our study points to predictive variables for behavior depicting environmental attitudes to  
 51  
 52 present the linking competencies. We agree with Brick & Lewis (2014) who describe  
 53  
 54 environmental attitudes as "a key individual difference that predict behavior" (p. 6). If  
 55  
 56 students know about their individual actions' effects their inclusion of nature could be  
 57  
 58 strengthened while the knowledge about the actions correlates with environmental values.  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65

#### 4.3. TEILSTUDIE B *ENVIRONMENTAL LITERACY*-MODELL

##### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1 The negative correlations between UTIL and the other variables indicate that the higher the  
2 Utilization attitude, the lower are the dispositions for the other variables and ultimately for  
3 pro-environmental behavior. Thus, it is important to reduce utilitarian preferences by  
4 promoting preservation, appreciative attitudes and action-related knowledge. Preservation  
5 and APP are particularly favorable variables as they directly promote environmentally  
6 friendly behavior. The appreciative attitude for nature plays an important role as it is the  
7 linking competency within the attitude domain of our model. This supports the view of  
8 Kaiser, Hartig, Brugger, & Duvier (2011) who suggested that appreciation for nature is a  
9 critical factor in promoting environmental engagement. In our model, we successfully  
10 integrated the 2-MEV scale highlighting both factors to be important predictors within the  
11 framework of linking attitudes. Both are in direct relationship with behavior with a positive  
12 effect on PRES and a negative effect on UTIL respectively. Furthermore, both link all three  
13 domains, providing potential starting points for environmental education programs.  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34

##### 5.4 Recommendations for environmental education programs

35  
36  
37  
38  
39 Fraser, Gupta, & Krasny (2014) formulated some common core issues of educational  
40 initiatives to foster sustainable lifestyles such as the protection of all life forms,  
41 ‘belongingness’ in nature, ethical aspects of environmental stewardship, cognitive processes  
42 to understand natural systems and critical thinking. Additionally, the major goal is to prepare  
43 tomorrow’s citizens for future environmental action (Fraser et al., 2014). Our analysis  
44 provides a model to promote pro-environmental behavior and thus realize sustainable  
45 citizenship. Our model addresses the “protection of all living” by implementing the MEV-  
46 scale as environmental protection can derive from altruistic moral values and obligations  
47 (Stern, 1999). The interrelations in our model demonstrate that Preservation promotes pro-  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

1 environmental behavior, whereas Utilization is negatively related to the other variables.  
2 Preservation tendencies should therefore be strengthened, whereas utilization tendencies  
3 should be weakened. However, the latter should be conducted carefully and not be  
4 implemented as “disaster-pedagogy” as this overwhelms students and hinders learning. A  
5 more promising approach would be to follow education for sustainable development which  
6 promotes critical thinking and personal ethical decision making. Especially, in environmental  
7 education on conservation and thus climate change, educators face a trade-off between  
8 knowledge-, justice- and individual happiness based argumentations (Eser, Neureuther, &  
9 Müller, 2011). Thereby mostly knowledge and justice based argumentations are implemented  
10 which are only partially fruitful. An individual happiness argumentation focuses on  
11 individual perception and thus attitudes towards environment and preservation seem more  
12 promising than a pure knowledge based approach. This is also supported by our model  
13 depicting INS as a variable linking the knowledge and attitude domains, although it fails to  
14 impact directly on behavior. By promoting INS, however, the model shows APP to be  
15 influenced which in turn promotes pro-ecological behavior, PRES and UTIL. Accordingly,  
16 pro-environmental attitudes and inclusion in nature should be promoted to foster sustainable  
17 ecological behavior within today’s youth. Here we agree with Corral-Verdugo (2002) who  
18 suggests that pro-environmental competencies should be an objective of any environmental  
19 education system. First-hand experiences in nature could be used to sow pro-environmental  
20 attitudes in children, which would in turn lead to pro-environmental engagement in adults  
21 (Cheng & Monroe, 2012). However, this is an ambitious mission and so far not practical for  
22 short term interventions (Bogner, 1998), which are today’s reality, where time for additional  
23 education programs is often lacking, and focus is laid on ICT development. Our model  
24 shows ACT and EFF to be an alternative approach for short-term interventions in order to  
25 promote positive environmental perceptions and hence indirectly ecological behavior.  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65



#### 4.3. TEILSTUDIE B *ENVIRONMENTAL LITERACY*-MODELL

##### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

Sellmann & Bogner (2013) demonstrated that a one-day educational program can be a successful intervention, yielding substantial knowledge acquisition in the field of climate change: students learn how to apply specific protective behavior and to identify which behavior would be the most promising choices. The understanding of behavioral choices and their effects is according to Corral-Verdugo (2002) a needed competence. By using INS, we focused on the relationship of ‘belongingness’ in nature.

##### 5.5 Potential limitations

Besides implementation in practice, some theoretical implications for future studies need consideration: Data collection should be expanded across boundaries to examine whether sociocultural aspects play an additional role. Similarly, although some studies limited the impact of social desirability (e.g. Kaiser, Ranney, Hartig, & Bowler, 1999), this potential impact may need observation, as all our scales are self-reporting ones.

##### **6. Conclusion**

The original model (Roczen et al., 2013) was successfully shown to be expandable by employing and analyzing the relationship of additional variables. Even the shortened scales provided enough information to yield a well-fitting model describing the interrelation of environmental competencies that foster pro-environmental behavior. However, although our partially different model may need further investigation, it seems promising for intervention studies to move our theoretical model into practice. Thereby, one could focus on the respective variables, action- and effectiveness-related knowledge for short-term interventions on the one hand, and appreciation towards nature and inclusion in nature in one’s self as well

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

as preservation for long term interventions on the other hand, to analyze their practical influence on behavior.

## 8. References

- Bamberg, S., & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 14–25. <http://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002>
- Boeve-de Pauw, J., & van Petegem, P. (2011). The effect of Flemish eco-schools on student environmental knowledge, attitudes, and affect. *International Journal of Science Education*, 33(11), 1513–1538.
- Bogner, F., Johnson, B., Buxner, S., & Felix, L. (2015). The 2-MEV model: Constancy of adolescent environmental values within an 8-year time frame. *International Journal of Science Education*, (July 2015), 1–15. doi:10.1080/09500693.2015.1058988
- Bogner, F. X. (1998). The Influence of Short-Term Outdoor Ecology Education on Long-Term Variables of Environmental Perspective. *The Journal of Environmental Education*, 29(4), 17–29. doi:10.1080/00958969809599124
- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (1999). Toward Measuring Adolescent Environmental Perception. *European Psychologist*, 4(3), 139–151. doi:10.1027//1016-9040.4.3.139
- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (2002). Environmental perception: Factor profiles of extreme groups. *European Psychologist*, 7, 225–237.
- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (2006). Adolescents' attitudes towards nature and environment: Quantifying the 2-MEV model. *Environmentalist*, 26(4), 247–254.
- Borchers, C., Boesch, C., Riedel, J., Guilahoux, H., Ouattara, D., & Randler, C. (2014). Environmental Education in Côte d'Ivoire/West Africa: Extra-Curricular Primary School Teaching Shows Positive Impact on Environmental Knowledge and Attitudes. *International Journal of Science Education, Part B*, 4(3), 240–259. doi:10.1080/21548455.2013.803632
- Brick, C., & Lewis, G. J. (2014). Unearthing the “Green” Personality: Core Traits Predict Environmentally Friendly Behavior. *Environment and Behavior*, 1–24. doi:10.1177/0013916514554695
- Brügger, A., Kaiser, F. G., & Roczen, N. (2011). One for all? Connectedness to nature, inclusion of nature, environmental identity, and implicit association with nature. *European Psychologist*, 16, 324–333.
- Cheng, J. C. H., & Monroe, M. C. (2012). Connection to Nature Children's Affective Attitude Toward Nature. *Environment and Behavior*, 44(1), 31–49.
- Chin, W. (1998). The Partial Least Squares Approach to SEM. In M. GA (Ed.), *Modern methods for business research* (pp. 295–336). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

#### 4.3. TEILSTUDIE B ENVIRONMENTAL LITERACY-MODELL

##### Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge

- 1 Corral-Verdugo, V. (2002). A Structural Model of Proenvironmental Competency.  
2 *Environment and Behavior*, 34(4), 531–549. doi:10.1177/00116502034004008
- 3 De Young, R. (1996). Some Psychological Aspects of Reduced Consumption Behavior: The  
4 Role of Intrinsic Satisfaction and Competence Motivation. *Environment and Behavior*.  
5 doi:10.1177/0013916596283005
- 6 Eser, U., Neureuther, A., & Müller, A. Klugheit, Glück, Gerechtigkeit Ethische  
7 Argumentationslinien in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt, Pub. L. No.  
8 107 (2011). Naturschutz und Biologische Vielfalt.
- 9  
10  
11 Fraser, J., Gupta, R., & Krasny, M. E. (2014). Practitioners' perspectives on the purpose of  
12 environmental education. *Environmental Education Research*, (March 2015), 1–24.  
13 doi:10.1080/13504622.2014.933777
- 14 Frick, J., Kaiser, F. G., & Wilson, M. (2004). Environmental knowledge and conservation  
15 behavior: exploring prevalence and structure in a representative sample. *Personality and*  
16 *Individual Differences*, 37(8), 1597–1613. doi:10.1016/j.paid.2004.02.015
- 17  
18 Geng, L., Xu, J., Ye, L., Zhou, W., & Zhou, K. (2015). Connections with Nature and  
19 Environmental Behaviors. *Plos One*, 10(5), e0127247.  
20 doi:10.1371/journal.pone.0127247
- 21  
22  
23 Gifford, R. (2014). Environmental psychology matters. *Annual Review of Psychology*, 65,  
24 541–79. doi:10.1146/annurev-psych-010213-115048
- 25  
26 Johnson, B., & Manoli, C. C. (2008). Using Bogner and Wiseman's model of ecological  
27 values to Perceptions., measure the impact of an earth education programme on  
28 children's environmental perceptions. *Environmental Education Research*, 14(2), 115–  
29 127.
- 30  
31 Kaiser, F. G. (1998). A general measure of ecological behavior. *Journal of Applied Social*  
32 *Psychology*, 5, 395–422. doi:10.1111/j.1559-1816.1998.tb01712.x
- 33  
34 Kaiser, F. G., Hartig, T., Brugger, a., & Duvier, C. (2011). Environmental Protection and  
35 Nature as Distinct Attitudinal Objects: An Application of the Campbell Paradigm.  
36 *Environment and Behavior*, 45(3), 369–398. doi:10.1177/0013916511422444
- 37  
38 Kaiser, F. G., Oerke, B., & Bogner, F. X. (2007). Behaviour-based environmental attitude:  
39 Development of an instrument for adolescents. *Journal of Environmental Psychology*,  
40 27, 242–251.
- 41  
42 Kaiser, F. G., Ranney, M., Hartig, T., & Bowler, P. A. (1999). Ecological behavior,  
43 environmental attitude, and feelings of responsibility for the environment. , 4, .  
44 *European Psychologist*, 4, 59–74.
- 45  
46 Kaiser, F. G., Roczen, N., & Bogner, F. X. (2008). Competence formation in environmental  
47 education: Advancing ecology-specific rather than general abilities. *Umweltpsychologie*,  
48 12(2), 56–70.
- 49  
50 Kibbe, A., Bogner, F. X., & Kaiser, F. G. (2014). Exploitative vs. appreciative use of nature –  
51 Two interpretations of utilization and their relevance for environmental education.  
52 *Studies in Educational Evaluation*, 41, 106–112. doi:10.1016/j.stueduc.2013.11.007
- 53  
54  
55 Milfont, T. L., & Duckitt, J. (2004). The structure of environmental attitudes: A first- and  
56 second-order confirmatory factor analysis. *Journal of Environmental Psychology*, 24(3),  
57 289–303. doi:10.1016/j.jenvp.2004.09.001
- 58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## 4.4 Teilstudie C *e-Learning*

### In-depth

#### Student's Quality Perception And Learning Outcomes When Using An Open Accessible Elearning-Resource

##### Authors

###### Bissinger, Kerstin

[Kerstin.Bissinger@uni-bayreuth.de](mailto:Kerstin.Bissinger@uni-bayreuth.de)

University of Bayreuth,  
Didactics of Biology  
Department  
Researcher, PhD student  
Bayreuth, Germany

###### Bogner Franz X.

[Franz.Bogner@uni-bayreuth.de](mailto:Franz.Bogner@uni-bayreuth.de)

University of Bayreuth,  
Didactics of Biology  
Department  
Professor, head of department  
Bayreuth, Germany

The present study focuses on 10th graders' perceptions of open educational resources (OERs) by examining students' rating of one exemplary open educational resource. Individual cognitive load while working on the web-based module was monitored. Additionally, we focus on learning outcomes monitored in a pre- and post-test design using pen and paper questionnaires as well as digital workbooks. The completion of one exemplary task depicts the potential to foster critical thinking by using OERs. Using these different aspects permit us to evaluate the quality of the used OER from a student's point of view. In summary our results points to a positive perception of the used OER, a cognitive achievement effect as well as the potential to support critical thinking which altogether supports a good quality of the resource and supports our strategy to be successful in order to assess quality of OERs in general.

##### Tags

Quality of OERs; student's perception; learning outcome; rainforest; climate change

### 1. Introduction

eLearning is regarded as a "new learning paradigm" (Yacob et al. 2012; Sun et al. 2008) and consequently enters more and more into today's education. These circumstances are reflected in the Digital Agenda for Europe, where especially [Action 68](#) requests to "mainstream eLearning in national curricular for the modernisation of education". Consequently, requirements for digital literacy of educators and students lead to the establishment of initiatives like Open Education Europa or the Open Discovery Space Project (ODS). Both projects share an important word in their title: "Open". Open can refer to different aspects like education should be open to everyone, or everyone should be allowed to contribute to education regardless of place, time or social aspects. In this sense open refers to an additional aspect: "Open educational resources" (OERs) which means digitally available resources for everyone. The idea is to motivate teachers to share their ideas across boundaries and work together in order to promote a literate and responsible next generation of European citizens. Consequently the main objective of ODS is to introduce changes in educational practices and develop resource-based learning. As a starting point, pedagogical best practice scenarios were developed and uploaded to a digital access point: the ODS portal. So far 6092 teachers are connected within 395 communities and have access to 721916 resources. The evaluation of ODS mainly addresses teachers by monitoring their actions on the portal and the implementation of questionnaires during workshops, coupled with more qualitative direct evaluation through workshops, interviews and focus groups (Bissinger et al. 2014).

## In-depth

However, the OERs within the teacher communities of the different projects are providing the basis for collaboration and learning and thus their quality plays an important role for the sustainable implementation of open education and learning. Yet, defining quality in regard to eLearning and OERs is one of the “central challenges for theory and practice” (Ehlers, 2004). In order to define quality in this context Dondi (2009) suggests to “consider the influence and visions of stakeholders on quality perception”. Besides encouraging teachers to actively engage in OER-communities by using, adapting and creating digital resources, students are an important stakeholder group as well. They are the actual end-user presumably profiting the most by the integration of innovative learning methods leading to computational literacy and the fostering of 21st century skills. Consequently, it is important to examine how students are affected by and perceive OERs as “quality seems to be in the eye of the beholder” (Dondi 2009). Even within one stakeholder group, differences concerning quality perception emerge (Boonen 2005 cited in Dondi 2009) making the assessment of quality difficult. These difficulties have led to some complains about a lack of documentation for eLearning as an “effective delivery mechanism” with respect for instance to learning outcomes (Manochehr, 2006). Up to now, there are some results existing in regard to students’ perception of eLearning and the related learning outcomes: Morgil et al. (2004) found students as pre-set to acquire knowledge „through the teacher“ and consequently as hesitant to use computer assisted educational applications; nevertheless, this perception changed after participating in an eLearning class. Cox (2013) reported students’ attitudes being dependent “upon their overall experience of using e-learning”. In regard to quality perception Ehlers (2004) described four groups of quality perception from a learner’s perspective which differ based on their preferences.

Our present study focuses on the implementation of an exemplary OER which is publicly available on the ODS portal: Tropical Rainforest and Climate Change. The OER tackles a complex thematic area which is imparted through eLearning in order to help students in a suitable manner to understand the role of tropical rainforest in the context of climate change and to establish their own opinions on this media-influenced topic. Starting from a basic exploration of the ecosystem, students analyse original data from Ecuador in order to find an informative basis to detect climate change. They also calculate their own carbon footprint and become acquainted with various actions which can be implemented in their daily life in order to tackle climate change. All these aspects aim to foster education for

a sustainable development. Therefore it was officially awarded to become a contribution to the UN decade of sustainable development. This learning resource was viewed by 59 different teachers of the ODS portal since its launch in June 2014 and was rated with 5 out of 5 stars by them.

The current study presents the quality perception of students reflected by their rating of tasks in regard to their cognitive load (CL; Paas & Van Merriënboer, 1994) and perception of usefulness. Additionally we focus on their cognitive achievements which provides an external quality criteria. We reflect our results taking into account student’s computer user self efficacy (CUSE; Cassidy & Eachus, 2002).

## 2. Material and Methods

114 tenth graders (age 16.51; SD 1.459; 50.88% male, 49.12% female) participated in a 1.5 hour learning programme dealing with tropical rainforest and climate change. Students followed the learning scenario available on the ODS portal and worked with the OER “Bayreuth goes Ecuador” which is a website comprising several applications like a video, texts, an interactive animation, a carbon footprint calculator and an analysing tool to examine two original datasets of an interdisciplinary research group recorded in Ecuador. Students are guided through these activities by dividing the unit into three different tasks including five leading questions each of which they directly answer on the website (and send themselves via email) or in a digital workbook.

In order to analyse students’ quality perceptions concerning this learning scenario, the participants were asked to rate how appealing they found the three different tasks. School grades were used for this purpose as students are familiar with this scale ranging from 1 “pleased me very much (well done)” to 6 “pleased me not at all (insufficient)”. Additionally, we asked students to state their CL varying between 1 very low CL and 9 very high CL with 5 as an anchor point defined as the CL of an everyday class. 82 students provided their opinion on these variables. Measuring learning outcomes was based on a pre-, post-test design (Figure 1). All tests contained 30 questions dealing with tropical rainforests and climate change, which were covered by the eLearning programme and a previous preparing hands-on circle. In order to consider different preferences in regard to computer usage the post-questionnaire contained the 30 item comprising CUSE scale (Cassidy & Eachus 2002) which asks student’s self-assessment. Students rate statements concerning

In-depth

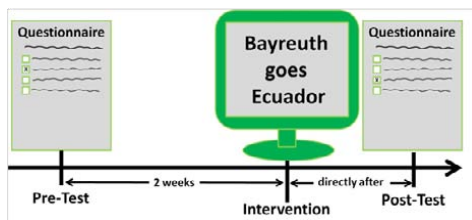


Figure 1: Study design a pen and paper questionnaire was used to identify students' already existing previous knowledge 2 weeks prior to the intervention. Directly after implementing the OER Bayreuth goes Ecuador a post test was assigned to examine students' knowledge acquisition.

typical computer implementations, problems or fears on a scale ranging from 1 (strongly disagree) to 6 (strongly agree) for each item. All 114 students answered these questionnaires.

Furthermore, the digital workbooks of these 114 students were analysed regarding two exemplary tasks. Task A contains the shading of tropical rainforest regions on a map (example provided in Figure 3), while task B focussed on the analysis of original data and asked students to draw their own conclusions concerning the existence of a temperature trend, its causes and consequences. The latter task was analysed according to Mayring's qualitative content analysis (Mayring, 2004), and statistical analysis was performed using SPSS Version 22 (IBM Corp. 2013).

3. Results

In general, students rated all three tasks within the fair ranges (means between 2.46 to 2.74) although some of them required the total spectrum for feedback. This is reflected by written comments (in the digital workbooks) like "It was interesting and was fun." (male student, age 14), "...all [other] tasks were ok" (male student, age 15), "really helpful, recommendable" (male student, age 16). Some students stated the tasks were "complex to handle..." (female student, age 17) which points to a CL situation. Herein, the complete range was needed in order to rate the tasks. Generally, students rated all tasks below the CL of a usual lesson in their classes. Figure 2: students' perception of eLearning illustrates our finding showing boxplots of the ratings and the stated cognitive load. In regard to student' CUSE values we found a rather self-confident group of students with CUSE mean values ranging between 3 and 6 with a mean of 4,44 (SD=.704).

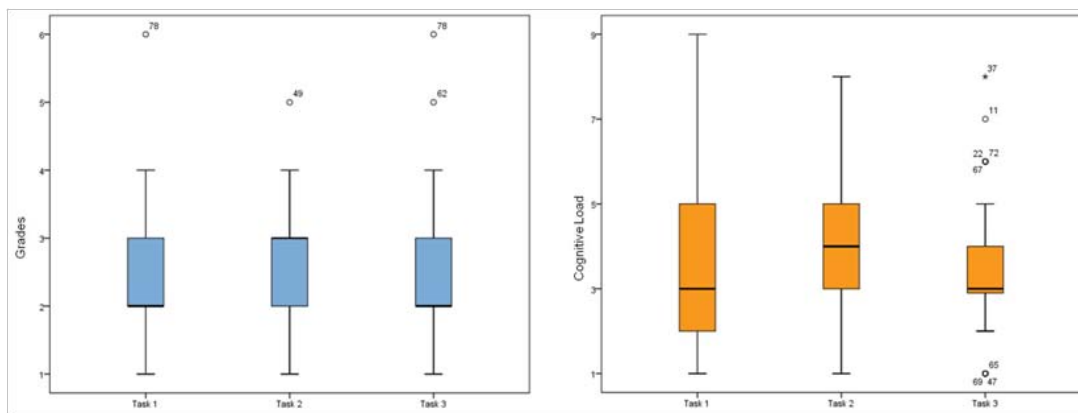


Figure 2: students' perception of eLearning focusing on students' rating (left boxplots) and their cognitive load (right boxplots). Students rate the eLearning tasks within fair ranges while their cognitive load is mainly below a typical classroom experience.

In-depth

The Kolmogorow Smirnow test yields non-normality for all variables (age, grades, CL, gender, CUSE mean;  $p < 0.001$ ). Consequently, non-parametric analyses were used for examining further interrelations. There is no connection between gender and the perception of the OER (neither grades nor CL), which is supported by a non-significant Mann-Witney U and Wilcoxon Test using gender as grouping variable (Table 1). Additionally the computer user self efficacy of male and female students does not differ significantly (Mann Whitney U test ( $U=.332$ ;  $p=.05$ )).

The provided grades and the CL of each task correlate positively (marked bold in Table 2). Furthermore, CL also correlates positively between the different tasks, and additionally the grade of the first task correlates positively with the second and third task (Table 2). The computer users' self efficacy of our students does not show any significant correlations neither with the provided grades nor with the indicated CL or age.

	T1_grade	T2_grade	T3_grade
Mann-Whitney-U-Test	768.500	702.000	719.500
Wilcoxon-W	1363.500	1297.000	1895.500
U	-0.483	-1.131	-0.983
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.629	0.258	0.326
	T1_CL	T2_CL	T3_CL
Mann-Whitney-U-Test	794.500	657.500	763.5
Wilcoxon-W	1970.500	1833.500	1939.500
U	-0.206	-1.511	-0.502
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.837	0.131	0.616

Table 1: Gender equality statistical analysis yield no significant differences between male and female students. Both populations rate the OER similarly and need to invest a comparable mental effort reflected by their cognitive load.

In regard to student's learning outcomes, all 30 items showed a Cronbach's alpha of 0.77 and thus can be used reliably. Students generally improved their knowledge by using the eLearning resource. The maximal knowledge increase constituted 11 items whereas the mean was 3.16 items with a standard deviation of 2.45 items. No gender effect was present (Mann Whitney U test:  $U=-1.562$ ,  $p=0.118$ ) and no significant correlation between age and knowledge gain was observed (Spearman Rho=-0.114;  $p=0.229$ ). Concerning Task A, 4.17 correct regions (SD=2.04) were averagely shaded in the pre-test. After participating in the scenario students correctly shaded almost two new regions during the post-test (mean 1.96 SD 1.828) depicting a significant ( $p<0.001$ ) knowledge increase.

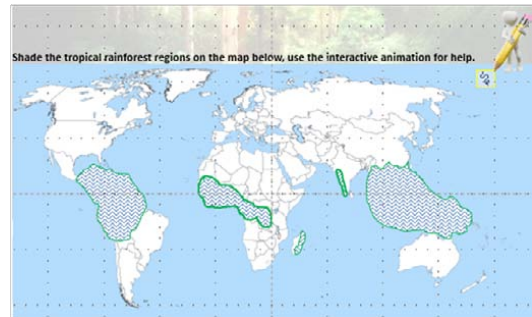


Figure 3: Exemplary task students were asked to shade tropical rainforest regions in their digital workbooks.

In-depth

		Age	T1_grade	T1_CL	T2_grade	T2_CL	T3_grade	T3_CL	CUSE
Age	R	1.000	.034	-.088	-.053	.052	-.006	-.035	.156
	Sig.		.762	.434	.638	.642	.960	.753	.161
T1_grade	R		1.000	<b>.272*</b>	<b>.414**</b>	-.028	<b>.240*</b>	.020	.131
	Sig.			.013	.000	.800	.030	.858	.241
T1_CL	R			1.000	.090	<b>.361**</b>	.054	<b>.495**</b>	-.019
	Sig.				.423	.001	.631	.000	.864
T2_grade	R				1.000	<b>.228*</b>	.211	.136	-.018
	Sig.					.039	.057	.222	.873
T2_CL	R					1.000	.114	<b>.345**</b>	.036
	Sig.						.308	.001	.725
T3_grade	R						1.000	<b>.367**</b>	-.039
	Sig.							.001	.725
T3_CL	R							1.000	-.144
	Sig.								.198
CUSE	R								1.000
	Sig.								

\* Correlation significant (two-tailed) at 0.05 level.

\*\*Correlation significant (two-tailed) at 0.01 level.

Table 2: Spearman Correlations depicted significant interrelations between ratings and cognitive load (marked bold) but no significant correlations are present in regard to student’s computer self-efficacy and the other variables.

The majority of students correctly recognized a raising temperature trend in the research data of task B, whereas only 7% did not report a trend. Additionally, some students assessed the quality of this temperature increase: 4% regarded the increase as huge over time, while 6% stated the increase as very small (Figure 4). While reflecting on the reasons for this temperature trend, students provided four concepts: global climate change, the anthropogenic greenhouse effect, human land use and generally the loss of the tropical CO2-repository. Hereby the two rather „general global reasons“ climate change and greenhouse effect were mentioned dominantly which is shown in Figure 5. A similar pattern can be found by examining the consequences which students suggested. Here as well, global consequences like “melting of poles”, “changing of seasons” or “sea level rise” were mentioned often although students were explicitly asked to describe consequences for the tropical rainforest ecosystem. The distribution of consequences is shown in Figure 6. About 50% of the students focussed on the actual task and described consequences for the tropical ecosystem.

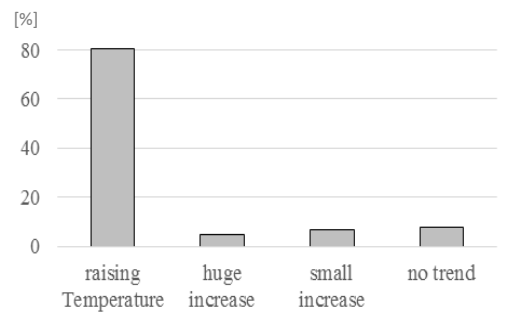


Figure 4: Students' statement on temperature trends. Students analysed original temperature data from Ecuador and mainly stated to observe raising temperatures.



In-depth

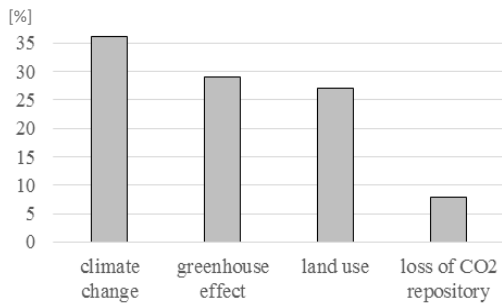


Figure 5: Reasons for temperature increase. Students reflected on reasons for raising temperatures and mainly blamed global problems to cause the trend.

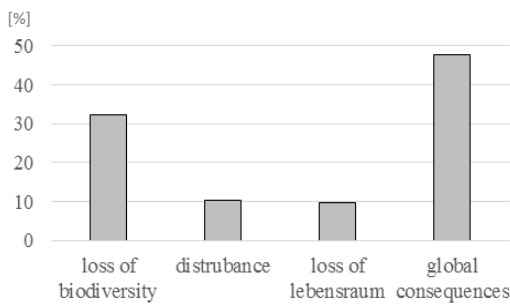


Figure 6: Consequences of raising temperature in a tropical rainforest ecosystem. Students were asked to think of consequences for a local tropical rainforest ecosystem however almost half of them stated global consequences.

More than half of these students mentioned the loss of biodiversity whereas 10% described the disturbance of the ecosystem including all connected biological consequences (adaptation, migration, speciation and extinction). The loss of lebensraum (mainly for animals) was also described by 10% of our participants.

4. Discussion

We found a general positive perception for the implemented eLearning scenario “Tropical Rainforest and Climate Change”. This possibly resembles students’ familiarity and comfort with modern pedagogical practices. Even at home technology is familiar and widespread: 85% of German households own a personal computer and 93% of people aged 16-24 years use the internet daily<sup>1</sup>. However, not all students rated the

<sup>1</sup> Number provided by the federal statistical office

tasks as pleasant which is reflected through the utilisation of the complete spectrum of grades. This varying perception of students is in line with Cox (2013) who described students’ attitudes as being related to their prior experiences, which are individual and thus probably differing within our sample. However, computer users self efficacy fails as a predictor for different perceptions: we detected no significant correlations between CUSE values and any other variable. However our sample size was perhaps inadequate and the self efficacy of our students was rather high. Interestingly we found no gender effects concerning the CUSE values which contradicts the findings of the original study where Cassidy & Eachus (2002) found significantly higher CSE values for male students. A possible reason for these findings is the development of an information and communication technology (ICT) culture. Since the first study more than a decade has passed and students’ familiarity with ICT has risen and programmes to foster ICT skills especially for females were launched within schools and beyond. These efforts probably closed the gap between male and female students. The federal statistical office reports no significant differences concerning gender to be existent for age groups below 45 years<sup>2</sup>. So perhaps other factors, like interest or motivation resulting from prior experiences might be more suitable predictors for varying perceptions and thus could be taken into account in future studies. Parker (2004) divides quality into three categories: “learning source, learning process and learning context”. In our study we might use these categories to explain the quality of our OER. The “learning source” which refers to the learning materials e.g. our website “Bayreuth goes Ecuador”, the infrastructure teaching and support can be assessed by the grades provided by the students. The quality of the “learning processes” can be reflected by the cognitive load of our students as it is a measure of the cognitive processes which takes place. The adequacy of the “learning context” (the environment in which learning takes place) could be compared to the CUSE values which were stated by the participants. Taking these different dimensions into account we receive a subjective quality perception of our stakeholders. Summarising our results we tend to assess our OER as being of good quality reflected by good grades, a low to medium cognitive load and a rather medium to high CUSE value.

When examining the interrelations of task grades a significant correlation between the first task and the rating of the subsequent tasks was found. This could be interpreted as a loss of motivation. If students did not like the first task (high =

<sup>2</sup> federal statistical office

## In-depth

bad mark), they did not like the others either. This might reflect a general problem with the learning method as described below. Sun et al. (2008) found seven variables as determining an eLearners' satisfaction namely "learner computer anxiety, instructor attitude toward e-Learning, e-Learning course flexibility, course quality, perceived usefulness, perceived ease of use, and diversity in assessment". Consequently, these aspects need to be taken into account for the ongoing study. Another crucial factor is the correlation between student's rating and CL. Although CL was found to be below a typical classroom experience, we found a positive correlation between CL and grade. As in the German school rating system a high grade reflects a bad mark we find students perceiving the task as difficult are rating it badly. Furthermore, the correlation pinpoints a relation between the CL of the first and other tasks. If students had difficulties with the first task, they are expected to encounter difficulties with the other tasks as well. This needs consideration as a general difficulty with the learning object and thus the media internet and digital workbook. As the webpage contains a variety of interactive information sources, these findings are in accordance with Van Merriënboer and Ayres (2005) who concluded "element interactivity [...] may be too high to allow for efficient learning.

These interrelations create different types of perceptions and thus it is not contradictory that students used the whole spectrum to state their opinion on our OER which is in line with Boonen (2005 cited in Dondi 2009) as explained above. Concerning quality these findings lead to different target groups within our stakeholders who have different quality preferences and thus rated accordingly. Ehlers 2004 defined four quality specific target groups: "The Individualist", "the Result-Oriented", "the Pragmatic" and "the Avantgardist". All these groups have different preferences which are of importance for their quality perception and consequently will rate the same OER in a different manner. These preferences derive from different factors, for example learning styles which should consequently be taken into account as in well future studies.

In order to receive more impartial quality criteria we analysed student's learning outcomes. Manochehr (2006) found eLearning to be more effective for particular learning styles than for others. In his study students following the "Assimilator and Converger" learning style performed better and thus reached a higher knowledge increase than the other students. In our study, all students achieved a knowledge increase both in the pre and post-test knowledge questionnaire and

in the development of shading tropical rainforest regions. We found no relationship neither between gender, age or computer user self efficacy suggesting our eLearning programme to be efficient for the complete target group reflecting a good quality in regard to the learning outcome. Knowledge increase through the implementation of an eLearning module has already been reported by other authors (Morgil et al., 2004; Cradler & Cradler, 2009) even leading to the statement "Online e-Learning is an alternative to traditional face-to-face education" (Sun et al., 2008). However, this conclusion should not be drawn too quickly and is not yet broadly agreed on. Clark (2002) explained it is "not the medium that causes learning. Rather it is the design of the lesson itself and the best use of instructional methods that make the difference". Consequently, further studies are needed to find a broader consensus on this issue especially as European policy makers promote this direction and late adopting teachers need to become assured of this new learning paradigm.

Regarding the students' competencies within our eLearning scenario, a majority was capable of correctly interpreting a plot of more than 40.000 data points. Nevertheless, the answers mostly followed a media-influenced pattern tending to blame global climate change as the ultimate reason. However a smaller group of our participants reflected in detail on reasons for climate change. When stating the greenhouse effect as a reason this group clearly emphasised its anthropogenic origin. Additionally, the concept of land use included statements like "tropical rainforests get deforested for palm oil plantations (for our daily consumer goods) which leads to an increased carbon dioxide emission and thus an increased greenhouse effect" (female student aged 17). These observations are congruent with the statements provided concerning consequences of climate change. Although specially asked to report on consequences affecting the tropical rainforest ecosystem, the vast majority named global consequences as in the following example: "The consequences of the raising temperature are rising sea levels and melting glaciers." (male student, aged 17). Here as well students with a focus on the actual task provided more elaborated statements on the loss of biodiversity "which we have not even discovered completely and might contain important medical plants or interesting animals" (female aged 18). Statements like these might originate from a general interest on environment or from a preparation lesson within the botanical garden. Future studies should analyse the correlation between environmental attitudes and knowledge conveyed through digital resources: this might help to detect special target groups of learners which

## In-depth

could lead to tailored learning experiences and strategies. The loss of lebensraum which was mainly stated in regard to animals depicts a classical phenomenon named “zoochauvinism” (Bozniak, 1994). Students generally neglect plants as living organisms as a result of education in which plants are seldom used as examples and their daily perception of plants that are not moving and do not show the signs of living at a quick glimpse. It is interesting to mention that we could observe students to pick animals in the interactive animation first and seldom examined plants out of their own interest. As students did not necessarily encounter plants in the eLearning module, it is not remarkable to find this common pattern. Interestingly students who pinpointed the disturbance of the ecosystem included all possible biological consequences and thus did not evaluate the temperature development as something bad but more as an ongoing process which conveys evolutionary trade-offs. This interpretation might result from prior class teaching as ecology and thus adaptation and speciation are topics of the 10th grade curriculum. Certainly, it is interesting to see students connecting their already existing prior knowledge with their findings throughout our eLearning scenario. These observations are in line with Manochehr, (2006) and Cradler & Cradler (1999) as both studies emphasize that eLearning promotes critical thinking and the ability to apply learning.

## 5. Conclusion

A successful implementation of any open available eLearning scenario needs reflection in regard to quality, significant learning outcomes and the activation of critical thinking in order to promote 21st century skills within the next generation of responsible citizens. Our study points in this direction. Furthermore, in our study students generally perceived an eLearning scenario as a good learning environment in which they could accomplish successful learning outcomes. However one should take into account the computer self-efficacy of our learners which was rather high. Future studies should focus on more heterogeneous participants analysing different sample groups in order to examine this factor. Although our study is just one example, as other studies also point to successful learning achievements we tend to conclude that eLearning offers a good opportunity to pass on knowledge to today’s youth when using a highly qualitative OER. In order to assess the quality of the resource the combination of rating and cognitive load provided interesting insights and is easy to handle which might be a good approach for future studies. Nevertheless, in a broader context other variables such as learning styles and design improvements

should be taken into account to further improve this way of learning and students’ perception.

## Acknowledgements

This study was completed within the framework of the Open Discovery Space Project (funded half-and-half by the European Union CIP PSP Grant Agreement No. 297229 and the University of Bayreuth). We thank the students and teachers who supported this study through their participation.

## 4.5 Teilstudie D *Environmental Literacy-Praxis*

Journal of Environmental Education

### Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

Journal:	<i>The Journal of Environmental Education</i>
Manuscript ID	02-16-017
Manuscript Type:	Original Research
Theoretical Perspective:	Environmental Literacy
Methodology:	Quasi-Experimental
Discipline:	Science Education
Education Areas of Expertise:	Secondary / High School, Informal/Nonformal
Data Collection & Analysis Methods:	Psychometric Measurement, Survey

SCHOLARONE™  
Manuscripts  
Review

ScholarOne, 375 Greenbrier Drive, Charlottesville, VA, 22901

#### 4.5. TEILSTUDIE D *ENVIRONMENTAL LITERACY*-PRAXIS

Page 1 of 49

Journal of Environmental Education

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

**Title:** Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

**Authors:** Kerstin Bissinger<sup>a\*</sup> & Franz X. Bogner<sup>a</sup>

**Affiliation:** <sup>a</sup> Department of Biological Education, Centre of Math and Science Education (Z-MNU), University of Bayreuth, Universitätsstr. 30, 95447 Bayreuth, Germany

**Email:** \*corresponding author [Kerstin.Bissinger@uni-bayreuth.de](mailto:Kerstin.Bissinger@uni-bayreuth.de)

Co-author: [Franz.Bogner@uni-bayreuth.de](mailto:Franz.Bogner@uni-bayreuth.de)

**Corresponding author:** Kerstin Bissinger, [kerstin.bissinger@uni-bayreuth.de](mailto:kerstin.bissinger@uni-bayreuth.de)

**Number of Figures:** 3

**Number of Tables:** 2

**Number of Words:** 4,636 (total words from Title through Figure titles; excludes Abstract (196 words) and references (1,359 words))

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

**Abstract:**

Environmental literacy is a key concept to promote individual behavioral changes towards a more sustainable lifestyle to encounter this environmental challenge. Promoting knowledge, attitudes and behaviors provides a reasonable basis to prepare adolescents for their future. A recently proposed environmental literacy model comprises three-dimensional knowledge, environmental attitudes and pro-environmental behavior. The present study applies this model by implementing an intervention focusing on tropical rainforests and climate change in a botanical garden, combining student-centered activities with self-dependent learning. Data from 283 10<sup>th</sup> graders quantifies individual knowledge, attitudes and behavior scores. Knowledge acquisition, a positive development of the inclusion in nature in one's self concept and increasing pro-environmental behavior intentions were found. In conclusion, our botanical garden's intervention evidently furthered appreciative tendencies and even encouraged environmental literacy.

**Keywords:** three-dimensional knowledge, knowledge acquisition, GLM, attitudes (MEV), self-reported ecological behavior (GEB)

**1. Introduction**

Anthropogenic influences on nature have produced and will produce major consequences for societies (Díaz, Fargione, Chapin, & Tilman, 2006). For many people within industrialized societies this impact remains invisible, as they have become increasingly dissociated from the natural world. Thus, climate change is a major socio-scientific issue depending on people's

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change behaviors such as greenhouse gas emitting mobility, energy consumption and food choices which threaten environments and the global society (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013). As adolescents often describe climate change as one of today's biggest problems (Vesterinen, Tolppanen, & Aksela, 2016), children and adolescents need specific preparation to cope with serious future implications for human and plant life (Dodd & Jones, 2011) which they will face as the adults of tomorrow. Thereby, it is especially necessary to tackle the media-produced uncertainty due to the incomprehensible and partially unreliable presentation which portrays the complex information patterns (Bord, O'Connor, & Fisher, 2000; Fortner et al., 2000). Due to population growth and the resulting need for additional resources, it is even more crucial to foster appropriate environmental education and raise individual awareness for the consequences of our everyday choices that influence our ecological footprints. While Gifford (2014) highlighted behavior choices as mainly rooted in family habits, Fraser, Gupta, & Krasny (2014) pointed to the heightened relevance of environmental education efforts that aims to enhance knowledge, to promote attitudes towards nature and ultimately to positively influence environmental behavior as its major objectives (Stern, Powell, & Ardoin, 2008). Thus, awareness for one's individual behavior's consequences is an important component to tackle global challenges which designates knowledge as a valuable tool. Since knowledge on its own is not regarded as sufficient to shape sustainable development, concentration on the transformation of knowledge into behavior seems important and may foster competencies. As "competency seems to be a keyword in understanding responsible environmental behavior" (Corral-Verdugo, 2002), the basis of a sustainable global citizenship may lie in fostering environmental literacy, comprising knowledge, attitudes and behavior. Kaiser, Roczen, & Bogner (2008) proposed an environmental competency model combining these variables: knowledge is based on three domains, namely system-, action- and effectiveness-related knowledge (SYS, ACT, EFF)

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

which are deemed to promote pro-environmental behavior. Knowledge acquisition can be achieved in both school and out-of-school environments, whereas a connection to nature is supposed to become favorably enhanced by direct, authentic experiences (Chawla & Cushing, 2007).

Most students regard animals as more interesting than plants, a phenomenon described as “plant blindness” (Wandersee & Schussler, 2001). Students like zoological gardens due to the variety of animals, especially of non-domestic ones, although cages and smells can spoil the individual enjoyment of such zoo visits. Botanical gardens in contrast are experienced by some students as fun-environments which offer lots of space and fascinating objects, whereas others perceive the quiet green environment as lacking opportunities for interactions and thus boring (Sanders, 2007). Consequently, educators need to invest additional efforts to draw attention towards plants. A fruitful approach is to emphasize the “living aspect” by highlighting plant adaptation features, since these are amongst the top five key plant characteristics in which students are interested (Nyberg & Sanders, 2013). Especially in the context of climate change education, plants offer an important role as carbon-reservoirs. However, students often lack this deeper understanding due to intermingling scientific correct and alternative conceptions about photosynthesis and wood-synthesis, and hence carbon-fixation (Thorn & Bissinger et al., 2016). Educational programs in botanic gardens offer a variety of instruction like guided-tours, talks, exhibitions, workshops and many others. The physical framing of plant collections comprising associated flora and fauna empowers the gardens to act as a metaphor for the complex relationships between humanity and environment (Sanders, 2007). Accordingly, botanical gardens’ strengths lie in authentic opportunities for multi-sensory experiences and practical engagement with plants and biotopes. Accordingly, botanic gardens present “windows to the botanical world” as they exhibit plants of different climate zones originating far away from students’ familiar local



Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change environment. Educational awareness programs on climate change should focus on its effects on biodiversity and global sustainability (Wyse, Jackson, & Sutherland, 2000). Educational conservation initiatives may better explain human's role in causing anthropogenic climate change by using this potential for knowledge promotion, role-modeling for sustainable behavior and even attitudinal shifts (Dodd & Jones, 2011; Sanders, 2007). Although a successful knowledge acquisition in the context of botanical gardens' student-centered learning units has been demonstrated (Sellmann & Bogner, 2012a), research about the usefulness of such informal learning settings and the related learning outcomes is still limited (Dodd & Jones, 2011). Consequently, we monitored our intervention which was developed to strengthen affective domains, including environmental values and maybe even behavior within the authentic learning environment of a botanical garden.

Assessing adolescents' and pre-adolescents' environmental values nowadays enjoys a psychometrically sound foundation: The bi-dimensional 2-Major Environmental Value scale (2-MEV) established by Bogner & Wiseman (1999) is a widely accepted instrument due to repeated independent confirmation (Borchers et al., 2014; Boeve-de Pauw & van Petegem, 2011; Johnson & Manoli, 2008; Milfont & Duckitt, 2004). It consists of two higher order factors (values) namely "Utilization" (UTL) and "Preservation" (PRE), each based on 10 statements. Individual attitudinal positioning is possible independently for each factor. On the one hand, a person can theoretically score low in environmental protection, while on the other hand the same person rejects the utilization of natural resources (Bogner & Wiseman, 2002). The most recent version of this scale includes negatively phrased items for both Preservation and Utilization which load contrarily (Kibbe, Bogner, & Kaiser, 2014) The complete 20 item-set measures preferences in preservation and utilization using a five-point Likert scale.

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

Utilization tendencies imply an anthropocentric worldview (Dunlap, 2008) which is associated with a continuing dissociation from nature. Therefore, assessing the Inclusion of Nature in one's self concept (INS) can be useful in analyzing this attitudinal component of environmental literacy. One graphical item serves as an explicit connection-with-nature measure (Schultz, 2001). Participants choose one out of seven differentially overlapping pairs of circles (labeled 'self' and 'nature') to describe their interconnection with nature.

Kaiser, Oerke, & Bogner (2007) used self-reports to adapt a behavior-based measurement instrument for adolescents that had originally been developed for adults (Kaiser, 1998). Six domains, namely "Energy conservation", "Mobility and transportation", "Waste avoidance", "Recycling", "Consumerism", "Vicarious behavior towards conservation", provided the framework for the 40 items. The frequency of a specific behavior, ranging from very often to never is assessed by a five-point Likert scale. Applying different domains leads to a more accurate assessment of environmental behavior. The scale has been repeatedly implemented successfully (e.g. Geng, Xu, Ye, Zhou, & Zhou, 2015; Uitto, Boeve-de Pauw, & Saloranta, 2015).

Reflection on personal attitudes and knowledge acquisition is regarded as an appropriate approach in the promotion of environmental literacy. Consequently, the present study had three objectives: Firstly, promoting knowledge acquisition. Secondly, strengthening participant's inclusion in nature in one's self concept. Thirdly, assessing participants' attitudes and pro-environmental behavior intentions.

## 2. Methods

### 2.1. Data acquisition

Data acquisition is based on 255 10<sup>th</sup> graders' (56% male, mean age = 15.8 years  $\pm$  SD=1.5 years) responses implementing questionnaires which comprised in total three established

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change scales (GEB, 2-MEV, INS) as well as one ad-hoc knowledge battery of 13 items (KN). Students completed the questionnaire during regular lessons or after our learning program (details for scales and timing see Table 1). All participating schools as well as all participants (or their legal guardians) provided consent for data acquisition.

## 2.2. Implemented scales & study design

Data collection was based on knowledge items concerning tropical rainforest and climate change education, evaluated by Rasch calibration and structural equation modeling (Bissinger & Bogner, 2015a). Example items for knowledge monitoring are: “How often does it rain in the tropics?” (SYS), “To have an environmentally friendly terrace I should...?” (ACT) and “The cultivation of oil palms leads to...” (EFF). All knowledge items followed a multiple choice response pattern with one correct out of four possible responses. As INS, 2-MEV and GEB might act as predictors of individual knowledge acquisition we additionally applied these scales. INS measurement used the graphical item described by Schultz (2001). We applied the 2-MEV scale in its most recent phrasing (Kibbe et al., 2014). For the GEB-measurement, we employed the subscales “Consumerism” and “Vicarious behavior towards conservation” as these are relevant in the thematic context of tropical rainforest and climate change education. Our study design comprises three reference points (Table 1): Two weeks prior to our intervention all students responded to the pre-test (T0) in their classrooms. The educational intervention itself was conducted in a botanical garden and lasted 3.5 hours (excluding breaks). Directly after the intervention, the participants completed the post test (T1). The test-retest group responded to the questionnaire without any learning program participation. After a further six to eight weeks, all students completed the retention test (T2). The test-retest group comprised 28 students (mean age = 16.2 years  $\pm$  SD=0.6 years) and

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

ensured the absence of any influence due to repeated questionnaire confrontation

(Scharfenberg, Bogner, & Klautke, 2006).

Table 1: Study design.

Reference	Timing	Participants	Scales
T0	two weeks prior	all students	GEB, 2-MEV, INS, ATT, KN
Intervention	3.5 hours station learning	Intervention group	No measurement
T1	directly after Intervention	all students	KN,INS
T2	6-8 weeks after Intervention	all students	GEB, KN,INS

### 2.3. Intervention

Our intervention followed the approach described by Davies, Sanders, & Amos (2015): We chose tropical rainforests as interest-promoting habitat and climate change as a socio-scientific topic providing contrasting learning experiences, we implemented resources which followed investigative approaches and established a guided learning environment that left some autonomy for our students. Thereby, we intended to sensitize our students to their personal influence, regarding their daily consumer-choices, opportunities and conservation intentions in order to promote environmental literacy. As suggested by Cheng & Monroe (2012), first-hand experiences might influence pro-environmental attitudes which in turn may promote pro-environmental engagement later-on in life. As first-hand experiences in tropical rainforests are logistically difficult to implement, our intervention was applied in a local botanical garden resembling a “window to the original tropical rainforests”. Thereby, students experienced first-hand tropical warmth, humidity, smells and an authentic flora.

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

After a short introduction to the general schedule and organizational issues, students completed the obligatory and optional modules in groups of four to five (Table 2) following a guided approach based on the provided work-book. The individual modules consisted of hands-on activities ranging from measuring abiotic factors to a sophisticated open inquiry-based science experiment. Exemplarily, students were asked to use objects displayed, like a measuring cylinder or a magnifying glass to examine plants to elaborate their adaptations. Due to the authentic learning environment, students were able to directly draw conclusions about the connection between habitat and morphological adaptations. For instance, *Guzmania* is an epiphytic plant growing on other plants in order to receive more light for photosynthesis, but consequently lacks direct contact to soil, and is therefore unable to obtain water via its roots. Our students examined the leaves' shape and came to the hypothesis that its leaves might collect water like a funnel. They tested and quantified this hypothesis (how much water can be collected) using a measuring cylinder. As an additional question arose by the experiment ("how can the plant use this water?") students were supported by profiles with additional information to clarify remaining questions. Usually, all hands-on modules were completed within 2.5 hours, including time for individual breaks. As it is complicated to observe climate change and individual influence we complemented the hands-on module with an eLearning scenario<sup>1</sup> (Bissinger & Bogner, 2015b) offering both original data showing climate trends over a period of 40 years and a carbon footprint calculator highlighting one's personal contribution to the greenhouse gas carbon dioxide. Opportunities for action are revealed which can become directly assessed for their potential effectiveness. Our students needed approximately one hour to complete the eLearning scenario. All intervention activities are displayed in Table 2.

---

<sup>1</sup> Available on [www.green-education.eu](http://www.green-education.eu)

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

Table 2: Intervention design. Italicized stations were *not* obligatory. Station 1-5 and Z were conducted in groups of 4-5 students while station E1-E3 and EZ were conducted in pairs or groups of 3 students.

Station	Content	Activities	Environment	Targeted dimensions
1	Environmental factors in tropical rainforests	Measuring temperature, humidity and luminosity; drawing diagrams; reflecting on biotic and abiotic factors	tropical greenhouse	SYS, PRES, INS
2	Plant adaptation	Planning and conducting small experiments based on a guided IBSE approach examining and interpreting morphological adaptations of <i>Guzmania</i> , <i>Nepenthes</i> and <i>Myrmecodia</i> .	tropical greenhouse	SYS, PRES, INS
3	Tropical products, consumer behavior, palm oil	Sorting daily product according to their origin. Reflecting on the list by examining product's packaging and ingredients. Understanding the role of palm oil for conventional products and its effects on tropical rainforests. Analyzing popular certificate's meaning and reflecting on personal consumer behavior.	tropical greenhouse	ACT, EFF, INS, PRES, GEB
4	Carbon-dioxide, carbon-sink, global warming	Open IBSE experiment with stepwise learning aid. Building an exemplary carbon sink in a graduated cylinder using plants, baking soda, vinegar and a tea light as indicator. Interpreting a colored map showing tropical rainforests as carbon sinks. Reflecting on the consequences of deforestation.	tropical greenhouse	SYS, ACT, EFF, INS, PRES
5	Deforestation, Rainforest Conservation, Climate Conversation	Calculating rainforest destruction based on overall consumption and meat consumption. Reflecting on consequences of rainforest loss and possible counteractions. Shooting a short-movie addressing rainforest and climate conservation based on own ideas.	tropical greenhouse	SYS, ACT, EFF, INS, PRES
Z	Sustainability, Fair-trade	<i>Simulation game: Empathize with roles of a small farmer who aims to educate his children, a small farmer who is in debt and is sending her children for child labor, a fair-trade organization and a major landowner. Reflecting on sustainability and consumer behavior</i>	tropical greenhouse	ACT, EFF, INS, PRES, GEB

## Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

E1	Tropical rainforest; canopy layers	Interactive simulation: Exploring canopy layers at day and night checking for trends within the environmental factors. Learning about deforestation and geographical distribution of tropical rainforests.	CIP	SYS
E2	Climate change, Climate researchers in Ecuador	Video: Watching a video on climate scientists in Ecuador, following their trail to the field station and their measuring spots. Original Data: Analyzing two original datasets covering temperature and humidity covering a 45 and 5 year period. Reflecting on causes and consequences of climate trends.	CIP	SYS, EFF
E3	Carbon footprint	Carbon-footprint calculator: Estimating own carbon-footprint, reflecting on its size, comparing it to a Kenyan one. Reflecting on the reduction goal of 2050. Video: Reflecting on global justice.	CIP	SYS,ACT,EFF, PRES, GEB
ZE	Individual Actions	Memory: Actions and Effects of daily behavior. Reflecting on improvement potential in personal life.	CIP	SYS,ACT,EFF, PRES, GEB

## 2.4 Data Analysis

We conducted statistical analyses using R version 3.1.2 (www.r-project.org, The R Foundation for Statistical Computing, 2014). Knowledge acquisition, INS development and GEB comparison were fitted using linear mixed effects models (LMM). Previously, for reasons of comparison, we collapsed the 5-digit Likert response patterns of GEB and 2-MEV and the 7-point INS scale to trichotomous scales. Regarding knowledge acquisition, we set knowledge as a command variable and measurement-point (T0-T2) as effect factors, whereas knowledge type, student and age were treated as random factors. In the knowledge dimensions, we set knowledge as a command variable and knowledge type and measurement-point (T0-T2) as effect factors, whereas student and age were handled as random factor. Similarly with INS and GEB, we defined these variables as command variables, with measurement-point (T0-T2) as effect factors and student as well as age being random factors.

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

For all models, we applied the function *lmer* (add-on package *lme4*, method see (Bolker et al., 2009) implementing multiple post-hoc comparison with adjusted p-values by means of the function *glht* (add-on package *multcomp*, method see Hothorn, Bretz, & Westfall (2008). The obtained p-values were adjusted by Bonferroni-correction for multiple testing (Benjamini & Hochberg, 1995).

### 3. Results

Overall, our intervention caused a significant knowledge gain, which was sustained for as much as six weeks (Figure 1), whereas the test-retest group did not yield any significant differences ( $p > 0.56$  for all combinations).

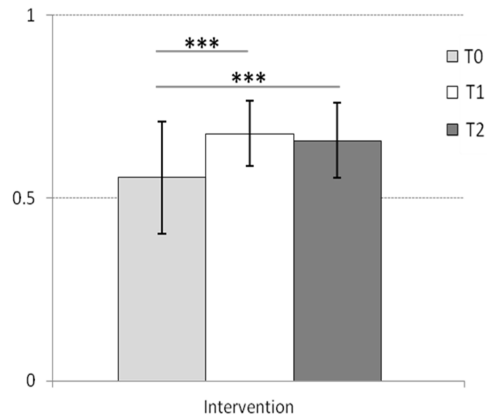


Figure 1: Total Knowledge Acquisition. The intervention group gained significantly overall knowledge. Significance codes:  $p < 0.001 = ***$ ,  $p < 0.01 = **$ ,  $p < 0.05 = *$

Similar findings applied to the three knowledge domains (Figure 2). Again, the test-retest group remained constant ( $p > 0.98$ ). Our intervention group started with a higher than average mean score for SYS and showed a significant increase from T0 to T1 as well as a significant decrease from T1 to T2. The pre-knowledge for ACT was also above the average but lower



Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

than SYS. However, ACT increased up to a similar score than SYS in the post-test (T1) and remained on this level, showing a non-significant drop. Effectiveness-related knowledge showed the lowest average starting-score. The visible increase between T0 and T1 is not significant; however this changes between T1 and T2, where a significant knowledge increase is achieved.

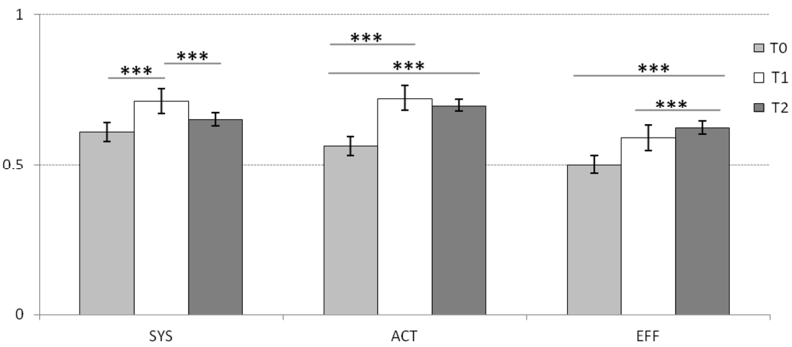


Figure 2: Development of knowledge domains within intervention group. SYS and ACT increases from T0 to T1 while EFF increases from T1 to T2. With exception of SYS the knowledge level is higher after six weeks (T2) than before the intervention (T0). Significance codes:  $p < 0.001 = ***$ ,  $p < 0.01 = **$ ,  $p < 0.05 = *$

The Inclusion in Nature in One's Self item (INS) showed a small (0.11 points) but significant increase for the intervention group from T0 to T1 ( $p < 0.001$ ) which remained stable at T2 ( $p = 0.93$ ). In contrast; the test-retest group remained constant ( $p(T0\_T1) = 0.75$ ;  $p(T1\_T2) = 0.08$ ;  $p(T0\_T2) = 0.75$ ).

The intention for general ecological behavior (GEB) was assessed prior to the intervention and six weeks after the intervention. The intervention group as well as the test-retest group showed below average scores in the pre-test. However, the score of the intervention group increased subtly but significantly from T0 to T2, whereas we found no effect on the test-retest group ( $p = 0.26$ ).

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

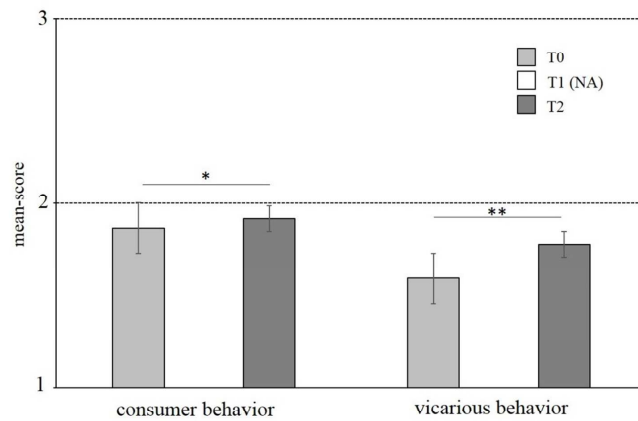


Figure 3: Comparison of GEB-subscores between pre-test (T0) before intervention and retention-test (T2) six weeks after participation. There is no measurement available for the post-test (T1) immediately after program participation. The intervention group increased their general ecological behavior mid-term, while the test-retest group remained unaffected (not shown). Significance codes:  $p < 0.001 = ***$ ,  $p < 0.01 = **$ ,  $p < 0.05 = *$

## 5. Discussion

A very encouraging result is the stable overall knowledge increase for a period of six weeks. The individual knowledge domains did not follow exactly the same pattern, as ACT and EFF retained higher scores at T2 than at T0. System-related knowledge, however, dropped back on its initial pre-test level. Furthermore, both INS and GEB increased. Our three objectives were thus achieved; highlighting our intervention's potential to induce environmental literacy.

### 5.2 Knowledge

Global climate change, its causes, mechanisms and impacts are regarded as important issues for teaching, with the need to include realistic options for conservation actions to protect the environment and sufficient knowledge about the actions' efficacies within educational

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change scenarios (Bord et al., 2000). This is in line with our intention to achieve a balance between the syllabus-relevant SYS and the competences relevant to environmental literacy ACT and EFF. Overall, our students increased knowledge scores sustainably for a six weeks time-span, showing our hands-on approach to be successfully promoting significant knowledge acquisition. This seems in line with a constructivist perspective which assumes individual hands-on activities to be supportive of meaningful learning through activity and problem-based learning and by individual thinking (Mayer, 2004). A second reason may lie in the performance of small cooperative groups which have been found to perform better, to invest more effort leading to higher achievements in knowledge acquisition (Johnson & Johnson, 1999). Our findings also support Lord (2001), who presented cooperative learner-centered stations as a suitable approach to support individual cognitive achievement. Our data are also in line with Sellmann & Bogner (2012a) who showed a similar botanical garden intervention as suitable to induce a general mid-term knowledge increase. In contrast to previous studies we focused on three knowledge domains and found domain-specific changes: System-related knowledge increased between pre- and post-test but dropped back to the initial level in the retention-test. Action-related knowledge increased sustainably after intervention, while EFF interestingly rose between post- and retention test. This pattern is in line with Fremerey & Bogner (2014), who reported SYS and ACT acquisition between T0 and T1 and the tendency of SYS to decrease between T1 and T2. Additionally, the lack of an increase in EFF between T0 and T1 is in accordance with Thorn & Bogner (2015). The apparent drop in SYS might indicate a tendency to learn just for a test, which is not conducive to sustainable knowledge acquisition. Unfortunately, there is a gap between practical implication and reality, as SYS is the most likely domain of knowledge which is prominently expected in the current syllabi. Providing suitable actions for pro-ecological behavior should become botanical garden's social purpose (Dodd & Jones, 2011). In terms of education for sustainable development,

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

empowering students with actions and knowledge about their action's efficiency seems very relevant. Furthermore, ACT interacts with the Utilization and Preservation attitude bridging the gap between knowledge and attitudes. Therefore, our results are encouraging, as ACT presents the most improved knowledge domain and the most stable knowledge increase. Probably, the students' perceived relevance of ACT encouraged our students to value this specific knowledge domain in particular. Interestingly, we observed a significant increase between T1 and T2 for EFF which might point to an in-between processing phase. Frick, Kaiser, & Wilson (2004) considered EFF to show a weak and unreliable relation to behavior, although this kind of knowledge domain theoretically seems to yield an important role and thus needs special attention. Our findings are in line with these assumptions although further qualitative research to analyze the processing phase is advisable.

Our INS scores' increase pattern matches previous studies where usually short-term increases are observed after participation in an outreach educational program (Sellmann & Bogner, 2012b). Nevertheless, our findings seem to be unique regarding the stable mid-term effect: To our knowledge short-term interventions like ours are assumed to produce no persistent effects (Bogner, 1998). Duerden & Witt (2010) explained perceived-directness to play a crucial role as this is not automatically guaranteed when taking students into nature, even if it is a tropical rainforest. In our case, we emphasized student-centeredness and especially self-dependence (providing autonomous learning opportunities) in order to provided positive experiences and freedom to become familiar with the tropical plants, and to appreciate them. From personal observations within the intervention we assume that our students perceived their learning environment to prompt a direct experience, although our greenhouses are mere models of a tropical rainforest. We observed students wandering around the greenhouse expressing their astonishment at nature's beauty. This is in line with Duerden & Witt (2010) who emphasized the perceived freedom promotes adolescent's interaction with nature which appears to

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change moderate the perceived experience's "directness". Our learning intervention followed the approach of Settlage (2000) where teachers act only as mentors, without directly influencing learning outcomes. Nevertheless, previous instruction about expectations, the objectives and the learning approach is needed to build up a common basis for students and educator in order to achieve the program's objectives.

As the intention to engage in pro-ecological behavior increased from pre- to retention test, we see our environmental literacy intervention as capable of shifting behavior slightly. This outcome itself is surprising, since short-term interventions like ours are not expected to succeed in this way (see above). Frankly, we cannot explain this shift by findings of previous studies, though there are several possible reasons: Maybe our stable promotion of INS triggered pro-ecological behavior as the need to conserve nature became apparent due to students' increased emotional bonds with nature. Our outcomes regarding knowledge acquisition, especially within ACT, could have further influenced attitudes, values and ultimately behavior. However, as we did not monitor the potential changes within Preservation and Utilization by means of a pre-, post-, retention-test design (reasons see Bogner, 1998), further investigations are needed. As we only implemented the GEB-subcales "Consumerism" and "Vicarious behavior towards conservation", we probably employed the relevant variables. Both subscales were specifically addressed in the hands-on modules and were reflected in our eLearning module as well. The low "vicarious behavior towards conversation" score in the pre-test points to a low awareness preference for these issues, perhaps providing the potential for a later shift. Our student-centered approach and repeated reflection probably engaged students and raised awareness for behavior choices linked to climate change and possible actions to encounter the challenge. Our conclusion is in line with Vesterinen et al. (2016), who presented students' opinions which emphasized that raising awareness for socio-scientific issues would be one of the most efficient ways to solve

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

global challenges as the lack of awareness represents the root reason for many environmental problems. Although monitoring all GEB-subscales would have provided a broader portrait of pro-ecological behavior, we can describe an essential section of individual behavior preferences.

Consequently, some recommendations for future environmental education programs can be made: Botanical gardens are suitable sites for educational initiatives and thus for promoting environmental literacy. However, gardens should adapt existing programs as they often apply “business as usual approaches” which are not likely to work (Willison, 2009). As SYS has only short-term relevance, and does not reach pro-environmental behavior levels, this knowledge domain should not provide the core of educational initiatives. We agree with Marshall & Erickson (2014) who emphasized a need for more than just one reason to care about climate change, including guidance and appropriate tools. Consequently, EFF and ACT should become an educational focus to promote environmental attitudes and even foster pro-ecological behavior while achieving more sustainable knowledge acquisition. Concerning positive attitude development we see student-centered learning aligned with perceived directness as an ultimate key. Thus students should be entitled enough freedom to make direct and relevant experiences within nature in order to promote their appreciative tendencies. Admittedly this might be challenging when having a distinct syllabi in mind.

A further recommendation results from our fairly small test-retest group: As teachers preferred to register their classes as intervention groups rather than as a test-retest groups, due to the completion of three questionnaires at school and the need to explain the purpose of a test-retest group to prevent students' frustration, some incentive to increase the number of test-retest participants may be advisable. The restricted number of participants might have led to an exclusive test-retest group which included mainly high achieving students reflected by high overall knowledge scores already in the pre-test. A more heterogeneous test-retest group

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

by means of random assignment would have been preferable, although this is quite ambitious in a regulated school environment.

### 6. Conclusion

We can draw some encouraging conclusions: Botanical gardens are shown to be suitable learning environments for successful knowledge acquisition aligned with positive shifts in attitudes and ultimately behavioral intentions. Student-centered approaches paired with self-dependent learning opportunities and authentic learning environments present a suitable approach to stimulate environmental literacy. Efforts to convey ACT and EFF rather than SYS need additional emphasis to support environmental literacy and its underlying competencies. Outreach environments such as botanical gardens offer the ground for supporting to reach literacy improvements. But they need to be used.

### 7. Acknowledgements:

We are grateful for all students and teachers participating in this study. Furthermore, we thank the Bavarian Ministry of Education (StM-BKWK) for approving all proposed research and consent processes (III.9-5 O 5106/91/13). We appreciate the support of the Ecological Botanical Garden Bayreuth (ÖBG) where we conducted our intervention as well as the Green School within the Botanical Garden of the Johannes Gutenberg University. We thank Christine and Simon Thorn for discussing the R analysis. This research has been undertaken under the Open Discovery Space project funded with support from the European Commission (Grant Agreement no. 297229). Any opinions, findings, conclusions, or recommendations expressed in this material are those of the authors and do not necessarily reflect the position of the European Commission.

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

### 8. References

- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society*, 57(1), 289–300. doi:10.2307/2346101
- Bissinger, K., & Bogner, F. X. (2015a). Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge. *Journal of Environmental Psychology*, submitted.
- Bissinger, K., & Bogner, F. X. (2015b). Student's Quality Perception And Learning Outcomes When Using An Open Accessible Elearning-Resource. *eLearning Papers*, 40, 23–31. Retrieved from <http://www.openeducationeuropa.eu/en/download/file/fid/37914>
- Boeve-de Pauw, J., & van Petegem, P. (2011). The effect of Flemish eco-schools on student environmental knowledge, attitudes, and affect. *International Journal of Science Education*, 33(11), 1513–1538.
- Bogner, F. X. (1998). The Influence of Short-Term Outdoor Ecology Education on Long-Term Variables of Environmental Perspective. *The Journal of Environmental Education*, 29(4), 17–29. doi:10.1080/00958969809599124
- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (1999). Toward Measuring Adolescent Environmental Perception. *European Psychologist*, 4(3), 139–151. doi:10.1027//1016-9040.4.3.139
- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (2002). Environmental perception: Factor profiles of extreme groups. *European Psychologist*, 7, 225–237.
- Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H., & White, J. S. S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(3), 127–135. doi:10.1016/j.tree.2008.10.008
- Borchers, C., Boesch, C., Riedel, J., Guilahoux, H., Ouattara, D., & Randler, C. (2014). Environmental Education in Côte d'Ivoire/West Africa: Extra-Curricular Primary School Teaching Shows Positive Impact on Environmental Knowledge and Attitudes. *International Journal of Science Education, Part B*, 4(3), 240–259. doi:10.1080/21548455.2013.803632
- Bord, R., O'Connor, R., & Fisher, A. (2000). In what sense does the public need to understand global climate change? *Public Understanding of Science*, 9, 205–218.
- Chawla, L., & Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental Education Research*, 13(4), 437–452.
- Cheng, J. C. H., & Monroe, M. C. (2012). Connection to Nature Children's Affective Attitude Toward Nature. *Environment and Behavior*, 44(1), 31–49.
- Corral-Verdugo, V. (2002). A Structural Model of Proenvironmental Competency. *Environment and Behavior*, 34(4), 531–549. doi:10.1177/00116502034004008
- Davies, P., Sanders, D. L., & Amos, R. (2015). Learning in Cultivated Gardens and Other Outdoor Landscapes. In C. J. Boulter, M. J. Reiss, & D. L. Sanders (Eds.), *Darwin-Inspired Learning* (pp. 47–58). Rotterdam: Sense Publishers. doi:10.1007/978-94-6209-833-6\_5
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8), 1300–1305. doi:10.1371/journal.pbio.0040277



Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

- Dodd, J., & Jones, C. (2011). Towards a new social purpose The role of botanic gardens in the 21st century. *Roots*, 8(1), 5–8. Retrieved from [http://www.bgci.org/files/Worldwide/Education/Social\\_inclusion/social\\_inclusion\\_summary.pdf](http://www.bgci.org/files/Worldwide/Education/Social_inclusion/social_inclusion_summary.pdf)
- Duerden, M., & Witt, P. (2010). The impact of direct and indirect experiences on the development of environmental knowledge, attitudes, and behavior. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4), 379–392. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494410000344>
- Dunlap, R. E. (2008). The New Environmental Paradigm Scale: From Marginality to Worldwide Use. *The Journal of Environmental Education*, 40(1), 3–18. doi:10.3200/JOEE.40.1.3-18
- Fortner, R. W., Lee, J.-Y., Corney, J. R., Romanello, S., Bonnell, J., Luthy, B., ... Ntsiko, N. (2000). Public understanding of climate change: certainty and willingness to act. *Environmental Education Research*, 6(2), 127–141.
- Fraser, J., Gupta, R., & Krasny, M. E. (2014). Practitioners' perspectives on the purpose of environmental education. *Environmental Education Research*, (March 2015), 1–24. doi:10.1080/13504622.2014.933777
- Fremerey, C., & Bogner, F. X. (2014). Learning about Drinking Water: How Important are the Three Dimensions of Knowledge that Can Change Individual Behavior? *Education Sciences*, 4, 213–228. doi:10.3390/educsci4040213
- Frick, J., Kaiser, F. G., & Wilson, M. (2004). Environmental knowledge and conservation behavior: exploring prevalence and structure in a representative sample. *Personality and Individual Differences*, 37(8), 1597–1613. doi:10.1016/j.paid.2004.02.015
- Geng, L., Xu, J., Ye, L., Zhou, W., & Zhou, K. (2015). Connections with Nature and Environmental Behaviors. *Plos One*, 10(5), e0127247. doi:10.1371/journal.pone.0127247
- Gifford, R. (2014). Environmental psychology matters. *Annual Review of Psychology*, 65, 541–79. doi:10.1146/annurev-psych-010213-115048
- Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *AR5 synthesis report*.
- Johnson, B., & Manoli, C. C. (2008). Using Bogner and Wiseman's model of ecological values to Perceptions., measure the impact of an earth education programme on children's environmental perceptions. *Environmental Education Research*, 14(2), 115–127.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1999). Making Cooperative Learning Work. *Theory into Practice*, 38(2), 67–73. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1477225>
- Kaiser, F. G. (1998). A general measure of ecological behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, 5, 395–422. doi:10.1111/j.1559-1816.1998.tb01712.x
- Kaiser, F. G., Oerke, B., & Bogner, F. X. (2007). Behaviour-based environmental attitude: Development of an instrument for adolescents. *Journal of Environmental Psychology*, 27, 242–251.
- Kaiser, F. G., Roczen, N., & Bogner, F. X. (2008). Competence formation in environmental education: Advancing ecology-specific rather than general abilities. *Umweltpsychologie*, 12(2), 56–70.

Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change

- Kibbe, A., Bogner, F. X., & Kaiser, F. G. (2014). Exploitative vs. appreciative use of nature – Two interpretations of utilization and their relevance for environmental education. *Studies in Educational Evaluation, 41*, 106–112. doi:10.1016/j.stueduc.2013.11.007
- Lord, T. R. (2001). 101 Reasons for Using Cooperative Learning in Biology Teaching. *The American Biology Teacher, 63*(1), 30–38. doi:10.1662/0002-7685(2001)063[0030:RFUCLJ]2.0.CO;2
- Marshall, J., & Erickson, D. M. (2014). Climate Change : Engaging Audiences , Prompting Action , Measuring Change. *International Zoo Educators Association Journal, 50*, 56–60.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-shrikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist, 59*(1), 14–19.
- Milfont, T. L., & Duckitt, J. (2004). The structure of environmental attitudes: A first- and second-order confirmatory factor analysis. *Journal of Environmental Psychology, 24*(3), 289–303. doi:10.1016/j.jenvp.2004.09.001
- Nyberg, E., & Sanders, D. (2013). Drawing attention to the “green side of life.” *Journal of Biological Education, 48*(3), 142–153. doi:10.1080/00219266.2013.849282
- Oerke, B., & Bogner, F. X. (2011). Social Desirability, Environmental Attitudes, and General Ecological Behaviour in Children. *International Journal of Science Education, 0693*(February), 1–18. doi:10.1080/09500693.2011.566897
- Roczen, N., Kaiser, F. G., Bogner, F. X., & Wilson, M. (2013). A Competence Model for Environmental Education. *Environment and Behavior, 46*(8), 972–992. doi:10.1177/0013916513492416
- Sanders, D. L. (2007). Making public the private life of plants: The contribution of informal learning environments. *International Journal of Science Education, 29*(10), 1209–28.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2006). The suitability of external control-groups for empirical control purposes: a cautionary story in science education research. *Electronic Journal of Science Education, 11*(1).
- Schultz, P. W. (2001). The structure of environmental concern: Concern for self, other people, and the biosphere. *Journal of Environmental Psychology, 21*, 327–339.
- Sellmann, D., & Bogner, F. X. (2012a). Climate change education: quantitatively assessing the impact of a botanical garden as an informal learning environment. *Environmental Education Research, 19*(4), 415–429. doi:10.1080/13504622.2012.700696
- Sellmann, D., & Bogner, F. X. (2012b). Effects of a 1-day environmental education intervention on environmental attitudes and connectedness with nature. *European Journal of Psychology of Education, 28*(3), 1077–1086. doi:10.1007/s10212-012-0155-0
- Settlage, J. (2000). Understanding the Learning Cycle: Influences on Abilities to Embrace the Approach by Preservice Elementary School Teachers. *Science Education, 84*(1), 43–50. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<43::AID-SCE4>3.0.CO;2-F
- Stern, M. J., Powell, R. B., & Ardoin, N. M. (2008). What difference does it make? Assessing outcomes from participation in a residential environmental education program. *The Journal of Environmental Education, 39*(4), 31–43.



## Kapitel 5

# Publikationsliste

---

Im Nachfolgenden sind alle meine bisherigen Publikationen in *Peer-Reviewten Journals* chronologisch aufgelistet. Hierbei sind nur die **fett** gedruckten Manuskripte Teil dieser Dissertation.

**Thorn, C. J.\*, Bissinger, K.\*, Thorn, S., & Bogner, F. X. (2016).** “Trees Live on Soil and Sunshine!”- Coexistence of Scientific and Alternative Conception of Tree Assimilation. *Plos One*, 11(1), 1–14. doi:10.1371/journal.pone.0147802

\*equally contributing first authors

**Bissinger, K. & Bogner, F. X. (2016).** Environmental Literacy in Practice: Education on Tropical Rainforests and Climate Change. *Journal of Environmental Education*, (eingereicht, derzeit *under Review*)

**Bissinger, K. & Bogner, F. X. (2015).** Environmental Literacy: Combining Behavior, Attitudes and Knowledge. *Journal of Environmental Psychology* (eingereicht, derzeit *under Review*)

Peinado, S., Mota, J. M., Palomo-Duarte, M., Doderó, J. M., Berns, A., Martellos, S., Doran, R., Lingyte, A., Arnold, C. J., Bissinger, K., Kouzov, O., Chelioti, E., Cherouvis, S., Stergiopoulos, P. (2015) Experiences of technology-rich innovation in European schools within the Open Discovery Space project. *Education in the Knowledge Society*, 16(3), 35-56.<sup>1</sup>

**Bissinger, K. & Bogner, F. X. (2015).** Student’s Quality Perception And Learning Outcomes When Using An Open Accessible Elearning-Resource. *eLearning Papers*, 40, 23-31.

Bissinger, K., Khoshravesh, R., Kotrade, J. P., Oakley, J., Sage, T. L., Sage, R. F., Hartmann, H.E.K. & Kadereit, G. (2014). Gisekia (Gisekiaceae): Phylogenetic relationships, biogeography, and ecophysiology of a poorly known C4 lineage in the Caryophyllales. *American journal of botany*, 101(3), 499-509.

---

<sup>1</sup>Dieses Journal veröffentlicht die Manuskripte sowohl auf Englisch als auch auf Spanisch. Das entsprechende Spanische Manuskript kann wie folgt referiert werden:

Peinado, S., Mota, J. M., Palomo-Duarte, M., Doderó, J. M., Berns, A., Martellos, S., Doran, R., Lingyte, A., Arnold, C. J., Bissinger, K., Kouzov, O., Chelioti, E., Cherouvis, S., Stergiopoulos, P. (2015) Experiencias de innovación tecnológica en las escuelas europeas del proyecto Open Discovery Space. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 16(3), 35-56.

## KAPITEL 5. PUBLIKATIONSLISTE

## Kapitel 6

# Eidesstattliche Versicherungen und Erklärungen

---

(§ 5 Nr. 4 PromO) Hiermit erkläre ich, dass keine Tatsachen vorliegen, die mich nach den gesetzlichen Bestimmungen über die Führung akademischer Grade zur Führung eines Doktorgrades unwürdig erscheinen lassen.

(§ 8 S. 2 Nr. 5 PromO) Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass die elektronische Fassung meiner Dissertation unter Wahrung meiner Urheberrechte und des Datenschutzes einer gesonderten Überprüfung hinsichtlich der eigenständigen Anfertigung der Dissertation unterzogen werden kann.

(§ 8 S. 2 Nr. 7 PromO) Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass ich die Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

(§ 8 S. 2 Nr. 8 PromO) Ich habe die Dissertation nicht bereits zur Erlangung eines akademischen Grades anderweitig eingereicht und habe auch nicht bereits diese oder eine gleichartige Doktorprüfung endgültig nicht bestanden.

(§ 8 S. 2 Nr. 9 PromO) Hiermit erkläre ich, dass ich keine Hilfe von gewerbliche Promotionsberatern bzw. -vermittlern in Anspruch genommen habe und auch künftig nicht nehmen werde.

Bayreuth, den

---

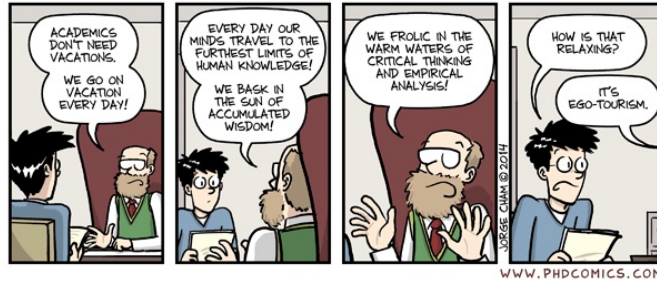
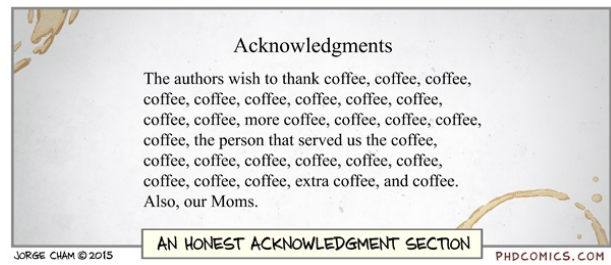
Datum

Unterschrift



# Kapitel 7

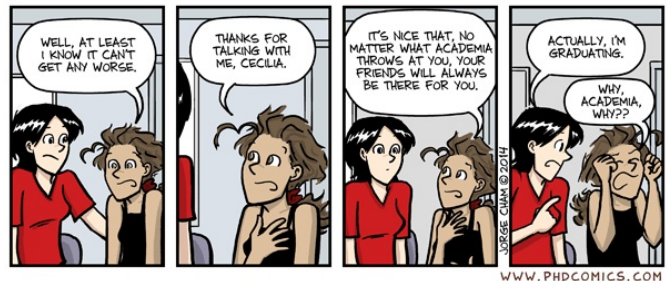
# Danksagung



Ich danke Prof. Dr. Franz X. Bogner für die Möglichkeit drei Jahre lang finanziell abgesichert dem *egotourism* zu frönen und diese Arbeit an seinem Lehrstuhl anfertigen zu dürfen. Darüber hinaus möchte ich mich bedanken, dass mir und meiner

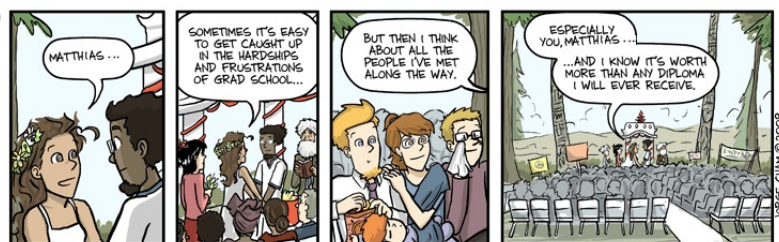
Arbeit im EU-Projekt *Open Discovery Space* so viel Vertrauen entgegengebracht wurde. Besonders die Förderung des selbstständigen wissenschaftlichen Arbeitens, die Verantwortung im EU-Projekt und die Möglichkeit, Lehre zu geben, haben mich in meiner persönlichen Entwicklung geprägt. Ein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für die gute Zusammenarbeit, gemeinsame Mittagessen und den konstruktiven Austausch. Frau Sabine Hübner danke ich für die gute Zusammenarbeit in der Lehre sowie ihr offenes Ohr. Frau Petra Feuerstein und Frau Gertrud Sommer bin ich dankbar für die Unterstützung bei vielen organisatorischen Fragen und der Abnahme von manchen bürokratischen Abläufen in stressigen Zeiten. Ich danke PD Dr. Gregor Aas und seinem gesamten Team im Ökologisch-Botanischen Garten Bayreuth, die es mir gemeinsam ermöglichten meine Lerneinheit an einem faszinierenden und authentischen Lernort durchzuführen

Ein besonderer Dank geht an Christine Thorn. Du bist nicht nur mein ODS-buddy, sondern auch eine gute Freundin geworden. Wir haben das Abenteuer Promotion gemeinsam angefangen, gemeinsam ODS gemeistert, uns durch alle R-



Fehlermeldungen gekämpft (danke Simon für deine Hilfe dabei) und gemeinsam eine tolle Zeit mit prägenden Erlebnissen verbracht. Meiner Familie danke ich von ganzem Herzen für ihre Unterstützung und den Zusammenhalt in turbulenten Zeiten. Es ist schön, dass wir alle füreinander da sind und aufeinander zählen können. Fernab der Heimat trugen mich unsere Anrufe (danke Oma für's Hessisch uff'm Arufbeandwodder), Emails (danke Mutti für's Updaten), und die Wochenenden (danke Mutti & Papa, Frederik & Greta, Christian, Opa & Oma und Anjolie für die gute Zeit zum Akku aufladen)

*Last but not least* gilt ein ganz besonderer Dank meinem Baldmann Matthias. Danke, dass du jeden Tag für mich ein Stück vom Sonnenstrahl, vom Fisch,



vom Baum klaust und an meiner Seite stehst. Dein  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ nical *support* bei kryptischen Fehlern ist Gold wert; deine Geduld, dein Verständnis und deine Liebe beflügeln mich dazu alles zu schaffen.