



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften



Lehrstuhl für
**Didaktik der
Biologie & Chemie**

Effektivität digitaler und analoger Umweltbildungsmodule:
Eine Studie zu Wissenserwerb, Kreativität und Umwelteinstellungen bei EduBreakouts zum Thema ‚Waldökosystem‘

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften
der Universität Bayreuth

vorgelegt von

Juliane Fleissner-Martin
geboren in Hof

Bayreuth, Oktober 2025

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Februar 2022 bis Oktober 2025 in Bayreuth am Lehrstuhl der Didaktik der Biologie und Chemie unter Betreuung von Herrn Prof. Dr. Franz X. Bogner und Herrn Prof. Dr. Jürgen Paul angefertigt.

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

Form der Dissertation: Kumulative Dissertation

Dissertation eingereicht am: 01.10.2025

Zulassung durch die Promotionskommission: 29.10.2025

Wissenschaftliches Kolloquium: 13.03.2026

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Janosch Hennig

Prüfungsausschuss:

Prof. Dr. F. X. Bogner (Gutachter)

Prof. Dr. Volker Ulm (Gutachter)

Prof. Dr. Stefan Schuster (Vorsitz)

Prof. Dr. Steven Higgins (Prüfer)

Danksagung

Ich möchte meine Dankbarkeit gegenüber meinen beiden Doktorvätern, Herrn Prof. Dr. Franz X. Bogner und Herrn Prof. Dr. Jürgen Paul, zum Ausdruck bringen. Ohne ihre fortwährende Unterstützung, das in mich gesetzte Vertrauen und ihre Bereitschaft, mir jederzeit bei Fragen zur Seite zu stehen, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ihr konstruktives Feedback hat meine Forschung maßgeblich vorangetrieben und die Finalisierung dieser Dissertation erst ermöglicht. Zudem danke ich ihnen für ihre Zuversicht und Ermutigung, an der landesweiten Konferenz FDdB 2023 in Ludwigsburg teilzunehmen, was für mich eine wertvolle Erfahrung war.

Mein herzlicher Dank gilt auch allen Kolleginnen und Kollegen für die angenehme und produktive Arbeitsatmosphäre. Unsere inspirierenden und produktiven Gespräche haben meinen Arbeitsalltag immens bereichert. Insbesondere möchte ich Petra Feuerstein danken, die stets ein offenes Ohr für meine Anliegen hatte und mir bei organisatorischen Fragen mit großem Engagement zur Seite stand. Ebenso möchte ich Petra Zippelius meinen Dank aussprechen, deren Unterstützung in den Lehrveranstaltungen „Biologische Schulversuche I & II“ meine Arbeit erheblich erleichtert hat. Ihre Mitorganisation und die sorgfältige Vorbereitung der Materialien für die Kurstage haben wesentlich zum Erfolg der Veranstaltungen beigetragen. Ein besonderer Dank gilt auch Dr. Tessa-Marie Baierl insbesondere für die hervorragende Zusammenarbeit bei Teilstudie D. Ihre Unterstützung, besonders bei statistischen Fragestellungen, sowie ihre stete Bereitschaft, mir mit Rat und Tat zur Seite zu stehen, waren von großem Wert.

Mein Dank richtet sich auch an die engagierten Lehrkräfte sowie die Schülerinnen und Schüler, die trotz der herausfordernden Umstände, während der COVID-19-Pandemie an den Unterrichtsmodulen und den Datenerhebungen teilgenommen haben. Ohne ihre Zuverlässigkeit und ihr Engagement wäre diese Arbeit nicht realisierbar gewesen.

Ein großer Dank gebührt auch dem Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus, das diese Arbeit durch die Genehmigung meiner Abordnung und meiner Datenerhebungen sowie die Finanzierung meiner Forschung überhaupt erst ermöglicht hat. Auch der Universität Bayreuth möchte ich für ihre kontinuierliche Unterstützung meinen Dank aussprechen.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Stammschule, dem Johann-Christian-Reinhart-Gymnasium in Hof, für ihre Unterstützung meiner Abordnung und ihre Flexibilität in der Stundenplanung während des Halbjahres der Datenerhebung danken.

Abschließend gilt mein tiefster Dank meinem privaten Umfeld, das mich in jeder Phase dieses Projekts unterstützt und motiviert hat. Ohne ihren beständigen Rückhalt wäre der Weg zu dieser Dissertation deutlich schwieriger gewesen.

Inhalt

Verzeichnisse	A
Abkürzungsverzeichnis	A
Abbildungsverzeichnis	A
Tabellenverzeichnis	A
1 Summary	1
2 Zusammenfassung	3
3 Synopsis.....	5
3.1 Einleitung.....	5
3.2 Theoretischer Hintergrund.....	7
3.2.1 Gamification und Game-Based Learning im Unterricht	7
3.2.1.1 Definition und Grundprinzipien von Gamification und Game-Based Learning.....	7
3.2.1.2 Escape-Games im Bildungskontext und ihre Auswirkungen auf den Lernerfolg ..	8
3.2.2 Analoges und digitales Lernen	10
3.2.3 Kreativität im Kontext Lernen.....	12
3.2.4 Umweltwissen und Umwelteinstellungen.....	14
3.3 Ziele und Fragestellungen der Teilarbeiten.....	18
3.4 Methoden.....	22
3.4.1 Stichprobe und Studiendesigns.....	22
3.4.2 Ausführliche Beschreibung und didaktische Begründung der Unterrichtsmodule .	24
3.4.2.1 Das analoge Unterrichtmodul – „Rettet den Wald!“	24
3.4.2.2 Das digitale Unterrichtmodul – „Hilferuf aus der Zukunft“	30
3.4.2.3 Begründung der methodischen Differenzierung anhand des SAMR-Modells .	33
3.4.3 Erhebungsinstrumente	35
3.4.4 Datenauswertung: Statistische Analysen	37
3.5 Ergebnisse und Diskussion	39
3.5.1 Teilstudie A: Konzeption zweier Unterrichtsmodule zur Umweltbildung im Kontext	39
des Ökosystems <i>Wald</i>	39
3.5.2 Teilstudie B: Vergleich des kurz- und langfristigen Wissenserwerbs durch das	43
analoge und digitale Unterrichtmodul	43
3.5.3 Teilstudie C: Der Einfluss von Kreativität auf den Lernerfolg in gamifizierten	45
Unterrichtsmodulen	45
3.5.4 Teilstudie D: Der Einfluss von Umwelteinstellungen auf den Wissenserwerb und	46
das Umweltverhalten	46
4 Literaturverzeichnis der Synopsis	48
5 Teilarbeiten	58
5.1 Publikationsliste	58

5.2 Darstellung des Eigenanteils	59
5.3 Teilarbeit A	60
5.4 Teilarbeit B	69
5.5 Teilarbeit C	84
5.6 Teilarbeit D	103
Anhang	114
A. Analoges Unterrichtsmodul	115
A.1 PowerPoint®-Präsentation	115
A.2 Arbeitsheft für Lernende	117
A.3 Lösungsheft für Lehrkräfte	140
A.4 Zusätzliche Lehrmaterialien	156
B. Digitales Unterrichtsmodul	176
B.1 PowerPoint®-Präsentation	176
B.2 Startkarten zum Ausmalen	177
B.3 Lösungsheft für Lehrkräfte	178
B.4 Link zum digitalen EduBreakout und ausgewählte Screenshots	185
C. Fragebogen: Anonyme Kennung	188
D. Fragebogen: Umweltwissen (W)	189
E. Fragebogen: Kreativität (CPAC)	194
F. Fragebogen: Umwelteinstellung (EA)	195
G. Fragebogen: Natureinstellung (AN)	197
H. Fragebogen: Verbundenheit mit der Natur (INS)	200
(Eidesstattliche) Versicherungen und Erklärungen	I

Verzeichnisse

Abkürzungsverzeichnis

AN	<i>Attitude toward Nature</i>
CPAC	<i>Cognitive Processes Associated with Creativity</i>
EA	<i>Environmental Attitude</i>
INS	<i>Inclusion of Nature in Self</i>

Abbildungsverzeichnis

Im Folgenden sind alle Abbildungen dieser Arbeit mit einer kurzen, zusammenfassenden Beschreibung aufgeführt. Wenn keine spezifischen Referenzen genannt sind, stammen die Fotografien von der Autorin und die Abbildungen wurden anhand der in den angegebenen Quellen enthaltenen Informationen selbst erstellt. Alle verwendeten Piktogramme wurden aus dem Piktogramm-katalog von Microsoft Office entnommen.

Abbildung 1: Das „Wedding Cake Modell“ von Rockström und Sukhdev (2016).....	5
Abbildung 2: Gegenüberstellung von Gamification und Game-Based Learning	7
Abbildung 3: Darstellung der vier Teilstudien A-D im Rahmen dieser Dissertation.....	18
Abbildung 4: Studiendesign einschließlich des Zeitrahmens der Auswertung	22
Abbildung 5: Beispielhafter Aufbau des analogen Unterrichtsmoduls „Rettet den Wald!“	25
Abbildung 6: Stationenübersicht des analogen Unterrichtsmoduls „Rettet den Wald!“	25
Abbildung 7: Startkarte für das digitale Unterrichtsmodul „Hilferuf aus der Zukunft“	31
Abbildung 8: Screenshot einer H5P-Anwendung aus dem digitalen Unterrichtsmodul	32
Abbildung 9: Das SAMR-Modell des digitalen Medieneinsatzes nach Puentedura (2006).....	33

Tabellenverzeichnis

Die Tabellen dieser Arbeit sind im Folgenden mit einer kurzen, zusammenfassenden Beschreibung aufgeführt, die einen Überblick ermöglicht.

Tabelle 1: Alter, Geschlechterverteilung und Stichprobengröße der Teilarbeiten	23
Tabelle 2: Überblick über die eingesetzten Erhebungsinstrumente	35

1 Summary

Forests are crucial to the global ecosystem, not only ecologically but also socially and economically (IPBES, 2019). Despite their fundamental role, forests face severe threats from deforestation and degradation, which requires urgent conservation measures (FAO, 2020). Sustainability concepts, as outlined in the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), emphasize the importance of raising environmental awareness to protect these ecosystems (Rockström & Sukhdev, 2016; UN, 2015). In educational research, knowledge is considered key for environmentally responsible behavior (e.g., Heimlich & Ardoin, 2008). However, the *knowledge-action gap* shows that knowledge alone is often insufficient to encourage effective pro-environmental actions (Kaiser & Fuhrer, 2003). Since adolescence is a critical phase for developing environmental attitudes (Krettenauer, 2017), school play a pivotal role. While intensive outdoor programs are proven to be particularly effective in promoting environmental attitudes (e.g., Braun & Dierkes, 2017), they are often difficult to integrate into the regular school routine. Therefore, this study investigates whether shorter, indoor-based interventions can achieve similar effects. The COVID-19 pandemic accelerated digitalization in education, leading to an increased use of digital teaching methods (Dhawan, 2020). Gamification approaches, combining digital and analog elements, offer innovative opportunities to promote knowledge and pro-environmental behavior sustainably. This dissertation examines the effectiveness of both analog and digital teaching methods in school-based environmental education focused on forests. Two teaching modules, one analog and one digital, both designed as escape games, are analyzed for their impact on students' short- and long-term knowledge acquisition as well as the role of creativity and environmental attitudes in the learning process.

Study A focused on designing two teaching modules on the forest ecosystem for eighth-grade students. The aim was to develop two content-identical modules, aligned with the Bavarian secondary school curriculum (LehrplanPLUS; ISB, 2024a), differing only in their format (digital and analog). Both modules covered relevant forest ecosystem topics such as succession, human impacts, and sustainability in about four lessons. The content was presented as escape games to create an effective and age-appropriate learning environment that also fosters knowledge acquisition.

To evaluate this, **study B** investigated the cognitive learning outcomes of both teaching interventions regarding their short- and long-term knowledge retention ($N = 299$; $n_{analog} = 74$; $n_{digital} = 225$). A multiple-choice questionnaire was developed and used in a pre-post-retention design, with Rasch calibration applied to the results across all three time points. Statistical analysis revealed significant knowledge gains for both interventions. Even after 6–9 weeks, no significant

1 Summary

decrease in knowledge was observed. There were no significant differences in knowledge gain between the groups, indicating that the type of teaching intervention had no effect on knowledge acquisition.

As a further potential factor influencing learning success, **study C** ($N = 393$) examined the role of creativity in relation to students' cognitive learning achievements. Higher levels of creativity correlated with increased learning outcomes, regardless of the teaching method. No significant gender differences were found. Creativity, particularly the experience of 'flow,' appears to be a beneficial factor in the learning process. Teachers should therefore adopt the role of mentors and provide self-directed learning environments to facilitate 'flow' and promote learner autonomy.

Finally, **study D** ($N = 393$) explored the influence of environmental attitudes on knowledge acquisition and pro-environmental behavior in the context of the teaching modules. The results showed that positive attitudes (Attitude toward Nature [AN], Environmental Attitude [EA], and Inclusion of Nature in Self [INS]) significantly correlated with higher and longer-lasting knowledge gains. Regression analysis identified AN and EA as significant predictors of long-term knowledge acquisition, with EA acting as a mediating factor. However, the teaching modules did not lead to significant changes in environmental attitudes, likely due to the short duration and indoor setting. This suggests that more in-depth, long-term educational approaches integrating nature experiences might be more effective in achieving sustainable attitude and behavior changes. Nevertheless, this study demonstrated that positive environmental attitudes play a crucial role in the learning process about environmental issues and significantly contribute to long-term knowledge acquisition.

2 Zusammenfassung

Wälder tragen maßgeblich zur Kohlenstoffbindung, zur Biodiversität und zur Bereitstellung von Ressourcen für lokale Gemeinschaften bei und sind somit nicht nur in ökologischer Hinsicht von großer Relevanz sondern auch in sozialer und ökonomischer Hinsicht (IPBES, 2019). Trotz ihrer fundamentalen Rolle sind sie durch Entwaldung und Degradation stark bedroht, was dringende Schutz- und Erhaltungsmaßnahmen fordert (FAO, 2020). Nachhaltigkeitskonzepte, wie sie in den Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der Vereinten Nationen festgesetzt sind, betonen die Bedeutung eines gesteigerten Umweltbewusstseins für den Schutz dieser Ökosysteme (Rockström & Sukhdev, 2016; UN, 2015). In der Bildungsforschung gilt Wissen als grundlegende Voraussetzung für umweltgerechtes Verhalten (z.B. Heimlich & Ardoin, 2008). Dennoch zeigt das Phänomen der *Knowledge-Action-Gap*, dass Wissen allein oft nicht ausreicht, um effektive umweltfreundliche Handlungen zu fördern (Kaiser & Fuhrer, 2003). Da das Jugendalter eine entscheidende Phase für die Entwicklung von Umwelteinstellungen darstellt (Krettenauer, 2017), spielen schulische Programme bei der Einstellungsbildung eine wesentliche Rolle. Während intensive Freiland-Programme nachweislich besonders effektiv bei der Förderung von Umwelteinstellungen sind (z.B. Braun & Dierkes, 2017), lassen sie sich oft nur schwer in den regulären Schulalltag integrieren. Daher wird untersucht, ob kürzere, klassenzimmerbasierte Interventionen ähnliche Effekte erzielen können. Die COVID-19-Pandemie hat die Digitalisierung im Bildungsbereich beschleunigt und zu einer verstärkten Nutzung digitaler Lehrmethoden geführt (Dhawan, 2020). Gamification-Ansätze, die digitale und analoge Elemente kombinieren, bieten innovative Möglichkeiten, um Wissen und umweltgerechtes Verhalten nachhaltig zu fördern. Diese Dissertation untersucht die Effektivität analoger und digitaler Lehrmethoden im schulischen Alltag zum Thema *Wald*. Im Fokus stehen zwei Unterrichtsmodule, eines analog und eines digital, die beide im Escape-Game-Design entwickelt wurden. Die Analyse umfasst den Einfluss dieser Module auf den kurz- und langfristigen Wissenserwerb von Lernenden sowie die Rolle von Kreativität und Umwelteinstellungen im Lernprozess.

Teilstudie A konzentrierte sich auf die Konzeption zweier Unterrichtsmodule im Kontext des Waldökosystems für die 8. Jahrgangsstufe. Ziel war es, zwei identische Module zu entwickeln, die den Vorgaben des LehrplanPLUS für bayerische Gymnasien (ISB, 2024a) entsprechen, sich jedoch in der Darbietung (digital und analog) unterscheiden. Beide Module decken relevante Inhalte zum Ökosystem *Wald*, wie Sukzession, menschliche Eingriffe und Nachhaltigkeit, in etwa vier Unterrichtsstunden ab. Die Inhalte wurden didaktisch reduziert und als Escape-Games aufbereitet, um eine effektive und altersgerechte Lernumgebung zu schaffen, die gleichzeitig den Wissenserwerb fördern soll.

2 Zusammenfassung

Um dies zu überprüfen, wurde in **Teilstudie B** die kognitive Lernleistung der Schülerinnen und Schüler in beiden Unterrichtsinterventionen hinsichtlich ihrer kurzfristigen und langfristigen Wissensretention untersucht ($N = 299$; $n_{analog} = 74$; $n_{digital} = 225$). Hierzu wurde ein Multiple-Choice-Fragebogen entwickelt, in einem Pre–Post-Retention-Design eingesetzt und über alle drei Testzeitpunkte Rasch-kalibriert. Die statistische Auswertung der Daten ergab signifikante Wissenszuwächse für beide Interventionen. Selbst nach 6–9 Wochen zeigte sich kein signifikanter Rückgang der erreichten Wissensniveaus. Es traten keine signifikanten Unterschiede im Wissenszuwachs zwischen den Gruppen auf, was darauf hinweist, dass die Art der Unterrichtsintervention keinen Einfluss auf den Wissenserwerb hatte.

Als weiterer potenzieller Einflussfaktor auf den Lernerfolg wurde in **Teilstudie C** ($N = 393$) die Rolle der Kreativität im Zusammenhang mit kognitiven Lernleistungen der Lernenden untersucht. Höhere Kreativitätsniveaus korrelierten mit gesteigerten Lernleistungen, unabhängig vom Unterrichtsmodul. Signifikante Geschlechtsunterschiede konnten nicht festgestellt werden. Kreativität, insbesondere das Erleben von *Flow*, scheint ein förderlicher Faktor für den Lernprozess zu sein. Lehrkräfte sollten daher die Rolle von Mentoren einnehmen und selbstgesteuerte Lernumgebungen bieten, um den Lernenden das Erreichen des *Flow*-Zustands zu ermöglichen und ihre Autonomie zu fördern.

Schließlich wurde in **Teilstudie D** ($N = 393$) der Einfluss von Umwelteinstellungen auf den Wissenserwerb im Kontext der Unterrichtsmodule untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass positive Umwelteinstellungen (Natureinstellung [AN], Umwelteinstellung [EA] und Naturverbundenheit [INS]) signifikant mit höheren und länger anhaltenden Wissenszuwächsen korrelierten. Die Regressionsanalyse identifizierte sowohl AN als auch EA als bedeutende Prädiktoren für den langfristigen Wissenserwerb, wobei EA als vermittelnder Faktor fungiert. Die Unterrichtsmodule bewirkten jedoch keine signifikanten Veränderungen in den Umwelteinstellungen, was auf die kurze Dauer und evtl. die mangelnde Naturerfahrung zurückzuführen sein könnte. Das deutet darauf hin, dass tiefgreifende, langfristige Unterrichtsansätze, die Naturerfahrungen integrieren, effektiver sind, um nachhaltige Einstellungs- und Verhaltensänderungen zu erreichen. Dennoch konnte diese Studie zeigen, dass positive Umwelteinstellungen eine zentrale Rolle im Lernprozess über Umweltfragen spielen und maßgeblich zum langfristigen Wissenserwerb beitragen.

3 Synopsis

3.1 Einleitung

Wälder spielen eine entscheidende Rolle im globalen Ökosystem und bieten eine Vielzahl von ökologischen, sozialen und ökonomischen Dienstleistungen (IPBES, 2019). Sie dienen unzähligen Arten als Lebensraum, tragen zur Klimaregulierung bei und stellen wichtige Ressourcen für die Menschheit bereit. Trotz dieser wichtigen Funktionen sind die weltweiten Waldflächen durch Abholzung und Degradation massiv gefährdet (FAO, 2020). Auch wenn die Zerstörung der Wälder mittlerweile langsamer voranschreitet (FAO, 2020), sind weitere dringende Maßnahmen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung dieser wertvollen Ökosysteme unerlässlich (IPBES, 2019). In diesem Kontext gewinnen Konzepte der Nachhaltigkeit, wie sie in den Zielen für nachhaltige Entwicklung (*Sustainable Development Goals, SDGs*) der Vereinten Nationen formuliert sind, immer mehr an Bedeutung (UN, 2015). Das *Wedding-Cake-Modell* (Abbildung 1) verdeutlicht, wie eng ökologische, soziale und ökonomische Ziele miteinander verknüpft sind und wie zentral das Umweltbewusstsein für die Erreichung dieser Ziele ist (Rockström & Sukhdev, 2016).

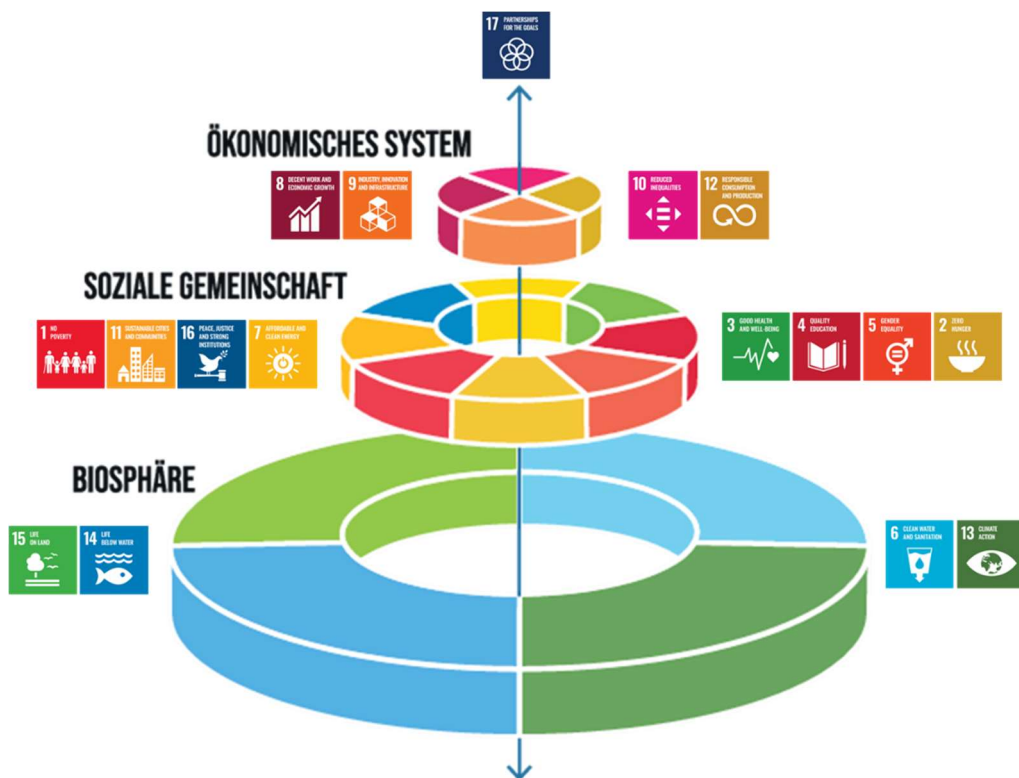


Abbildung 1: Das *Wedding-Cake-Modell* von Rockström und Sukhdev (2016) visualisiert die hierarchische Struktur der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs), wobei die Basis durch die Biosphäre (SDGs 6, 13, 14, 15) gebildet wird, die eine Grundlage für die soziale Gemeinschaft (SDGs 1, 2, 3, 4, 5, 7, 11, 16) darstellt. An der Spitze steht das ökonomische System (SDGs 8, 9, 10, 12), das auf den darunter liegenden Ebenen aufbaut. Dieses Modell verdeutlicht die interdependente Beziehung zwischen ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimensionen der Nachhaltigkeit.

3 Synopsis

In der Bildungsforschung wird häufig betont, dass Wissen eine entscheidende Grundlage für Umweltschutzverhalten darstellt (Geiger et al., 2019; Heimlich & Ardoin, 2008; Kollmuss & Agyeman, 2002). Allerdings zeigt sich, dass Wissen allein nicht ausreicht, um umweltgerechtes Verhalten zu fördern – ein Phänomen, das als *Knowledge-Action-Gap* bekannt ist (Kaiser & Fuhrer, 2003). Das Ziel von Bildungsinitiativen ist folglich diese Kluft zu überwinden. Da das Jugendalter eine besonders bedeutende Phase für die Einstellungsbildung darstellt (Krettenauer, 2017), kommt schulischen Bildungsprogrammen eine wichtige Bedeutung zu. Studien haben gezeigt, dass ausgiebige Freilandinterventionen besonders effektiv bei der Bildung von Umwelteinstellungen sind (Braun & Dierkes, 2017). Solche Programme sind jedoch oft schwer mit dem Curriculum und den zeitlichen Rahmenbedingungen des Schulalltags vereinbar. Daher stellt sich die Frage, ob auch kürzere, klassenzimmerbasierte Interventionen erfolgreich bei der Schärfung von Umwelteinstellungen sein können. Insbesondere bei Jugendlichen ist die Forschungslage zur Wirksamkeit solcher Interventionen bislang noch unzureichend, da sich viele Studien tendenziell auf Erwachsene oder umfassende Outdoor-Programme konzentrieren (Bogner & Wiseman, 2004; Frantz & Mayer, 2014).

Hinzukommt, dass die COVID-19-Pandemie die Bildungslandschaft grundlegend verändert und den Trend zur Digitalisierung verstärkt hat. Homeschooling und digitale Lehrmethoden wurden zum Alltag, was sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit sich brachte (Dhawan, 2020). Vor diesem Hintergrund fanden neue Ansätze in der Umweltbildung, die digitale und analoge Lehrmethoden kombinieren und durch innovative Konzepte wie *Gamification* bereichert werden, vermehrt Anwendung. Diese Entwicklungen werfen die Frage auf, wie diese neuen Bildungskonzepte effektiv gestaltet werden können, um sowohl Wissen als auch umweltbewusstes Verhalten nachhaltig zu fördern.

Die vorliegende Dissertation setzt mit ihren vier Teilstudien genau hier an. Ziel ist es, die Effektivität verschiedener Lehrmethoden in der Umweltbildung im Kontext des Waldes zu untersuchen. Im Mittelpunkt stehen dabei die Gestaltung und der Vergleich zweier inhaltsgleicher Unterrichtsmodule: ein analoges Modul und ein rein digitales Modul, beide entwickelt im Escape-Game-Design (Teilstudie A). Untersucht wird, wie diese beiden Ansätze den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler beeinflussen, wobei sowohl der kurz- als auch der langfristige Wissenserwerb betrachtet wird (Teilstudie B). Darüber hinaus wird die Rolle von Kreativität (Teilstudie C) und Umwelteinstellungen (Teilstudie D) im Lernprozess untersucht, um ein umfassenderes Verständnis dafür zu gewinnen, welche Faktoren den Erfolg von Umweltbildung fördern können.

3.2 Theoretischer Hintergrund

Wie bereits in der Einleitung angedeutet, greift diese Dissertation eine Reihe umfassender Themen auf. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher eine prägnante Übersicht über die zentralen theoretischen Grundlagen präsentiert.

3.2.1 Gamification und Game-Based Learning im Unterricht

3.2.1.1 Definition und Grundprinzipien von Gamification und Game-Based Learning

Spielen ist ein wesentlicher Bestandteil der menschlichen Natur und Kultur (Charman, 2013; Huizinga, 1981). Es bereitet Freude, fördert Motivation (McGonigal, 2011) und stärkt den Wettbewerb (Reeves & Read, 2009) sowie die Teamarbeit (Vegt et al., 2014). Bereits im Kindesalter dient das Spiel als eine der wichtigsten Methoden, um Wissen und Fähigkeiten zu erwerben (Hromek & Roffey, 2009; Lieberman & Edwards, 2014). Aber auch im Erwachsenenalter bleibt das Spielen ein wertvolles Mittel, um Kreativität und Produktivität zu steigern und Stress abzubauen (Baldry & Hallier, 2009; Charman, 2013; Holmes & Marra, 2002; Lamm & Meeks, 2009). Diese Erkenntnisse werden zunehmend im Bildungskontext genutzt, um das Lernen durch spielerische Elemente attraktiver und motivierender zu gestalten. Insbesondere *Gamification* und *Game-Based Learning* werden hierbei angewendet (Abbildung 2).

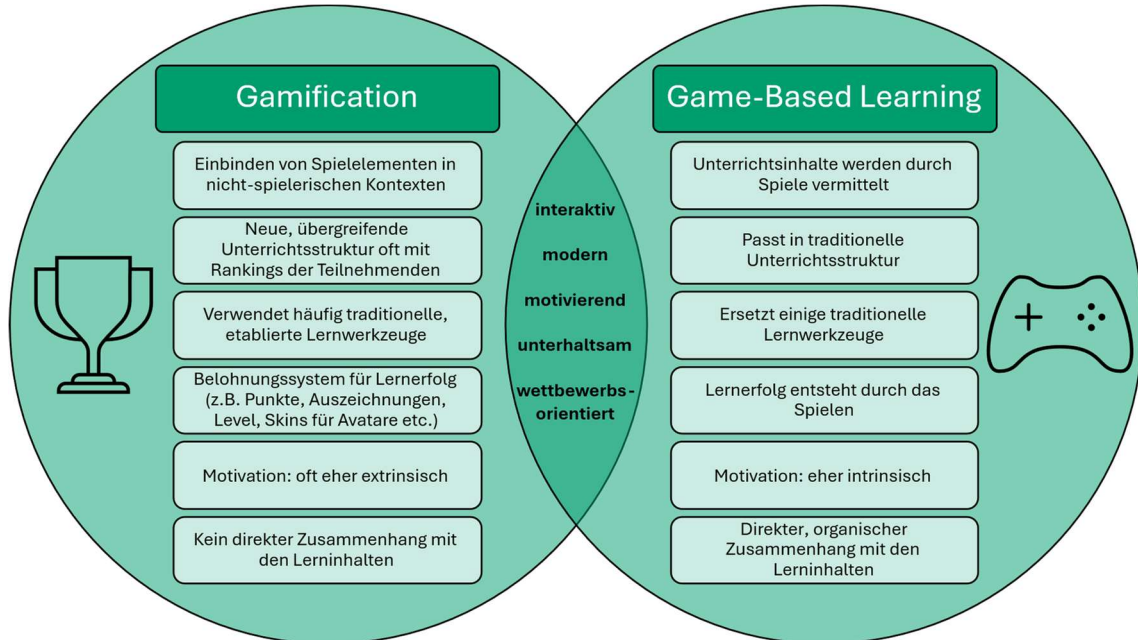


Abbildung 2: Gegenüberstellung von Gamification und Game-Based Learning. Trotz gemeinsamer Merkmale, wie Interaktivität, Modernität, Motivation, Unterhaltung und Wettbewerbsorientierung sollten die beiden Begriffe nicht synonym verwendet werden. Gamification integriert Spielelemente in nicht-spielerische Kontexten, fördert meist extrinsische Motivation durch Belohnungssysteme und ist oft von den eigentlichen Lerninhalten entkoppelt. Im Gegensatz dazu verknüpft Game-Based Learning Lerninhalte direkt mit der Spielstruktur und zielt durch den Videospielcharakter primär auf die intrinsische Motivation der Lernenden ab. (Abbildung verändert nach Figueroa-Flores (2016), Legends of Learning, 29.01.2018,

3 Synopsis

<https://www.legendsoflearning.com/blog/gbl-vs-gamification/> und C. J. Thompson, 24.01.2023, <https://blog.acceleratelearning.com/game-based-learning-vs-gamification>)

Gamification gilt heute als ein informeller Oberbegriff für die Anwendung von Spielelementen in nicht-spielerischen Kontexten, um Motivation und Engagement zu steigern (Deterding et al., 2011). Dabei werden Belohnungen wie Punkte, Abzeichen und Level eingesetzt, um Nutzer zu motivieren und das Lernen zu fördern (Kapp, 2012). Obwohl das Konzept ursprünglich auf behavioristischen Ansätzen basiert, da es auf gezielt eingesetzte Anreize (Belohnungen) setzt (Skinner, 1938), zielen moderne *Gamification*-Ansätze vermehrt darauf ab, intrinsische Motivationsprozesse zu fördern, die über kurzfristige Verhaltensänderungen hinausgehen (Pfeiffer et al., 2020). Im Bildungsbereich wird *Gamification* verwendet, um das Verhalten der Lernenden durch spielähnliche Umgebungen zu motivieren (Hamari et al., 2014). Bei richtiger Anwendung zählen zu den Vorteilen eine motivierende Lernumgebung, erhöhte Konzentration und gesunder Wettbewerb (Majuri et al., 2018). Jedoch können auch Probleme auftreten, wie Betrügen, um sich Vorteile zu verschaffen, oder dass das Punktesammeln von den eigentlichen Lernaktivitäten ablenkt und einen destruktiven Wettbewerbseifer hervorbringt (Hyrynsalmi et al., 2017).

Im Gegensatz dazu verbindet **Game-Based Learning** Lerninhalte direkt mit einer Spielumgebung, in der das Spielen selbst als Lernmethode dient (Pozo-Sánchez et al., 2022). *Game-Based Learning* ermöglicht interaktives und immersives Lernen, das den Übergang zwischen Spiel und Lernen fließend gestaltet, wodurch die Motivation und der Lernerfolg gesteigert werden können (Chang et al., 2012; Virvou et al., 2005). Zu den Vorteilen dieses Konzepts gehören die Förderung des selbstgesteuerten Lernens, die Entwicklung von Problemlösefähigkeiten und die Einbindung der Lernenden in den Spieldesign-Prozess (Figuroa-Flores, 2016). Herausforderungen bestehen jedoch in der mangelnden Vertrautheit der Lehrkraft mit den Spielen, unklaren Lernzielen und möglichen technischen Infrastrukturproblemen im Klassenzimmer (Figuroa-Flores, 2016). Die Entscheidung, welches dieser Konzepte am besten für den jeweiligen Lernzweck geeignet ist oder ob gar eine Kombination der beiden eingesetzt wird, muss letztlich von der Lehrperson abgewogen werden.

3.2.1.2 *Escape-Games im Bildungskontext und ihre Auswirkungen auf den Lernerfolg*

Escape Games erfreuen sich zunehmender Beliebtheit, nicht nur als Freizeitaktivität, sondern auch im Bildungssektor (Veldkamp et al., 2020). Als Vorläufer aller Escape Games kann das textbasierte Spiel *Behind Closed Doors* aus dem Jahr 1988 von John Wilson angesehen werden. In diesem Spiel wurde zum ersten Mal das Konzept verwirklicht, ein Spiel zu entwickeln, einen Spieler in einem Raum einzusperren. Mit der Weiterentwicklung der Computergrafik wurde dieses Spielprinzip für den sogenannten *Point-and-Click*-Stil adaptiert, der in den Spielen jener Zeit populär war. Diese Spiele erweiterten die textbasierten Spiele um eine Benutzeroberfläche, mit

3 Synopsis

der die Spieler durch Zeigen und Klicken mit der Maus oder einem Controller interagieren konnten. Einen entscheidenden Beitrag zur Popularität dieses Genres leistete das Online-Spiel *Crimson Room* aus dem Jahr 2004, entwickelt vom Japaner Toshimitsu Takagi. 2007 schuf das Unternehmen SCARP aus Kyoto, Japan, den ersten physischen Escape Room *Real Escape Game™* (SCRAP Corp., 2023), dessen fesselndes Spielerlebnis zu einem weltweiten Hype führte, der bis heute anhält (Kroski, 2019). Diese Entwicklung blieb auch in der Spieleindustrie nicht unbemerkt und es entstanden zahlreiche Escape Games für den Heimgebrauch, die auf physischen Rätseln basierten und allein oder im Team gespielt werden konnten (z.B. *EXIT – Das Spiel* der Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, o. D.). Die COVID-19-Pandemie und die damit einhergehenden Kontaktbeschränkungen führten zu einer vorübergehenden Schließung der physischen Escape Rooms. Dies hatte zur Folge, dass Escape Games für zuhause, insbesondere Online-Escape-Games, einen erneuten Aufschwung erlebten. Heute gibt es eine Vielzahl an Angeboten für sowohl physische als auch digitale Escape Rooms.

Aktuelle Generationen wachsen in einer digitalisierten Welt auf, in der der Zugang zu scheinbar endlosen Informationen und sozialen Medien allgegenwärtig ist. Sie fordern daher auch im schulischen Umfeld schnelle Reaktionen, soziale Interaktion und erfahrungsbasiertes Lernen (Anastasiadis et al., 2018). Als Konsequenz dieser veränderten Bedürfnisse zeigt sich eine abnehmende Begeisterung für traditionelle Lehrmethoden. Das Verständnis der Lernenden von einer effektiven Lernumgebung weicht folglich erheblich von früheren Generationen ab. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, erforschen immer mehr Studien innovative, motivierende und unterhaltsame Ansätze wie *Gamification* und *Game-Based Learning* (z.B. Kapp, 2012).

Escape Games im Speziellen basieren auf einem sozial-konstruktivistisches Lernkonzept, das darauf abzielt, dass Lernende ihr Wissen durch eigene Erfahrungen im Umgang mit den Herausforderungen des Spiels aufbauen (Fotaris & Mastoras, 2019). In diesen Lernszenarien begegnen sie neuen, oft anspruchsvollen Problemen, die sie durch Zusammenarbeit mit ihren Mitlernenden und mithilfe eines Tutors lösen. Der Tutor kann hierbei entweder als Spielentwickler fungieren, indem er die Lernumgebung gestaltet, oder als Spielleiter, der den Lernenden durch die Bereitstellung von Lernhilfen unterstützt und ihre Interaktion mit den Lernmaterialien und untereinander fördert (Giang et al., 2020).

Pozo-Sánchez et al. (2022) empfehlen beispielsweise die Integration von *Gamification* im Bildungsbereich, etwa durch Methoden wie Escape Games. Diese könnten das Verständnis von Lerninhalten verbessern und somit den akademischen Erfolg unterstützen. Zusätzlich fördern sie eine Vielzahl von Fähigkeiten und die Kreativität der Lernenden. Anastasiadis et al. (2018) heben weitere Vorteile des digitalen, spielbasierten Lernens hervor, darunter positive Einflüsse auf die kognitive Entwicklung, die digitale Kompetenz, das soziale und emotionale Wachstum

3 Synopsis

sowie die Förderung von Soft Skills, Entscheidungs- und Problemlösungsfähigkeiten und kritischem Denken. Zudem schaffen solche Methoden eine verbesserte Umgebung für Zusammenarbeit und Kommunikation, fördern eine positive Wettbewerbsatmosphäre, steigern das Selbstwertgefühl und die Autonomie der Lernenden, ermöglichen progressives Lernen durch Erfahrungen und bieten ein belohnendes Gefühl von Fortschritt und Erfolg.

Es ist daher nicht überraschend, dass Escape Rooms auch im akademischen Kontext zunehmend an Bedeutung gewinnen. Da es jedoch weder praktikabel noch gesetzlich zulässig ist, eine Gruppe von Lernenden in einem Raum einzusperren und zu warten, bis sie sich durch Rätsellösen befreien, wurden viele Escape Rooms für den Unterricht auf eine Gruppenaktivität am Tisch reduziert, bei der eine Serie von verschlossenen Boxen zu öffnen ist (Schaffhauser, 2017). Zwar geht bei dieser Form von Aktivität die vollständige Immersion eines echten Escape Rooms verloren, doch kann sie, wenn sie gut konzipiert ist, den Lernenden dennoch eine motivierende und pädagogisch wertvolle Erfahrung bieten (Clarke et al., 2017).

Akademisch ausgerichtete Escape-Room-Szenarien wurden durch *Breakout EDU* populär, eine immersive Lernplattform, die 2015 gegründet wurde und Lehrkräften Kits für Escape Rooms bereitstellt (Rouse, 2017). Bildungseinrichtungen und Bibliotheken haben damit begonnen, diese Initiative in ihre Programme zu integrieren (Walsh & Spence, 2018) oder eigene *Educational-Escape-Rooms* zu entwickeln (López-Pernas et al., 2019). Eine weitere Abwandlung ist der Einsatz fiktiver Kriminalfälle, bei denen die Lernenden durch das Lösen von Rätseln und Aufgaben die nächsten Hinweise erlangen müssen, um den Fall letztlich zu lösen (Knopf et al., 2021). Auf Grundlage der genannten Aspekte und der bisher vielversprechenden Studienlage wurden daher für diese Arbeit zwei inhaltsgleiche, jedoch unterschiedlich gestaltete *EduBreakouts* (= Escape-Games im Bildungskontext) konzipiert.

3.2.2 Analoges und digitales Lernen

Die Diskussion um die Vor- und Nachteile digitalen und analogen Lernens hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen, insbesondere durch die COVID-19-Pandemie und die damit einhergehende Digitalisierung des Unterrichts. Die schnellen Umstellungen führten zu einer verstärkten Auseinandersetzung mit der Frage nach der Wirksamkeit digitaler Lehrmethoden im Vergleich zu traditionellen analogen Ansätzen.

Analoges Lernen umfasst alle traditionellen Lehrmethoden unter Verwendung analoger Medien, wie Schulbuch, physische Modelle oder Wandtafel, die ohne den Einsatz digitaler Technologien auskommen (Moser, 2006). Ein wesentlicher Vorteil dieser Methoden liegt in der direkten

3 Synopsis

Interaktion zwischen Lehrkräften und Lernenden. Diese persönliche Kommunikation ermöglicht es, unmittelbar auf Verständnisprobleme einzugehen, Fragen zu klären und eine förderliche und motivierende Lernumgebung zu schaffen, die durch soziale Nähe gestärkt wird (W. Liu, 2021; Wang & Newlin, 2000). Zudem kann die haptische Auseinandersetzung mit physischen Materialien das Lernen vertiefen (Chatterjee & Hannan, 2015; Hartman et al., 2000) und Ablenkungen durch digitale Medien minimieren (Rosen et al., 2013; Uncapher et al., 2017). Nachteile analoger Lernmethoden bestehen jedoch in der begrenzten Flexibilität. Analoge Lernmaterialien lassen sich nicht so leicht aktualisieren und können daher veralten. Auch der Zugang zu multimedialen Inhalten oder umfangreichen Wissensressourcen ist eingeschränkt. Dies kann insbesondere für Lernende mit unterschiedlichen Bedürfnissen und Lernstilen problematisch sein. Um ausreichende Differenzierung zu gewährleisten, muss folglich ein sehr hoher Aufwand betrieben werden (Gibbs, 2023). Dazu kommt, dass das Speichern und Teilen von Informationen in analoger Form oft umständlich sind. Aber auch in einer zunehmend digitalisierten Bildungswelt bleibt analoges Lernen relevant, insbesondere in Regionen oder Kontexten mit eingeschränktem Zugang zu digitalen Technologien. Zudem sind bestimmte Kompetenzen, wie das Experimentieren in den Naturwissenschaften, nach wie vor nur in analoger Form vollständig zu vermitteln (Oliveira & Bonito, 2023).

Digitales Lernen hingegen bietet zahlreiche Vorteile, die es in der heutigen Bildungslandschaft besonders relevant machen. Ein zentraler Vorteil ist die Flexibilität, da Lerninhalte unabhängig von Zeit und Ort verfügbar sind und regelmäßig aktualisiert werden können (Müller et al., 2023; Sangiuliano Intra et al., 2023). Dies erlaubt den Lernenden, in ihrem eigenen Tempo zu arbeiten und die Inhalte beliebig oft zu wiederholen (Becker & Metz, 2024). Zudem bietet digitales Lernen die Möglichkeit der Individualisierung. Adaptive Lernsysteme passen sich an das Leistungsniveau der Lernenden an und bieten gezielte Unterstützung (Yaseen et al., 2025). Der Einsatz multimedialer Ressourcen, wie Videos oder Simulationen, erweitert die didaktischen Möglichkeiten erheblich (Breslyn & Green, 2022). Über digitale Plattformen ist zudem die Zusammenarbeit in virtuellen Gruppen möglich, was den Austausch über geografische Grenzen (auch während des Homeschoolings) hinweg erleichtert (Verstegen et al., 2018). Schließlich kann der direkte Zugang zu umfangreichen Informationsquellen, wie Datenbanken und wissenschaftlichen Artikeln, für ein vertieftes selbstgesteuertes Lernen genutzt werden. Dennoch ist digitales Lernen nicht frei von Herausforderungen. Eine der größten Schwierigkeiten besteht in der potenziellen Ablenkung, da die ständige Verfügbarkeit digitaler Inhalte und der Zugang zu sozialen Medien die Konzentration beeinträchtigen kann (Aivaz & Teodorescu, 2022). Zudem ist das digitale Lernen stark von funktionierenden technischen Voraussetzungen abhängig, insbesondere einer stabilen In-

ternetverbindung sowie leistungsfähigen Endgeräten (Ren et al., 2024). Diese technischen Abhängigkeiten können in sozioökonomisch benachteiligten Regionen oder Haushalten zu erheblichen Barrieren führen, was unter dem Begriff *Digital Divide* zusammengefasst wird (Cullen, 2001; Pierce & Cleary, 2024). Auch der persönliche Austausch, der im analogen Unterricht oft eine zentrale Rolle spielt, ist im digitalen Kontext eingeschränkt, was sich auf die Lernmotivation und -qualität auswirken kann (Hollister et al., 2022).

Vor diesem Hintergrund setzen viele Bildungseinrichtungen auf *Blended Learning*, eine Kombination von Präsenzunterricht und Computertechnologie, unter Verwendung von Online- und Offline-Aktivitäten bzw. Materialien (Tomlinson & Whittaker, 2013). So wird versucht, die Vorteile beider Ansätze zu verbinden, indem es die Flexibilität digitaler Tools mit der sozialen Interaktion des Präsenzunterrichts kombiniert. Das SAMR-Modell (Puentedura, 2006), das verschiedene Stufen der Technologieintegration beschreibt, bietet dabei eine Orientierung, wie digitale Medien sinnvoll in bestehende Lehrmethoden eingebettet werden können (siehe z.B. Kapitel 3.4.2.3).

Die empirische Forschung zu Kontrastierung digitaler und analoger Lernmethoden liefert widersprüchliche Ergebnisse. Während einige Studien die Überlegenheit digitaler Methoden hervorheben (Benbunan-Fich & Hiltz, 1999; Connolly et al., 2007; Maki et al., 2000; Twigg, 2003), zeigen andere, dass traditionelle Präsenzformate effektiver in der Wissensvermittlung sind (Mottarella et al., 2004; Wang & Newlin, 2000). Eine dritte Gruppe von Studien findet jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Ansätzen (Botsch & Botsch, 2001; Fiedler et al., 2021; Kemp & Grieve, 2014; Waschull, 2001). Hattie (2023) hebt in seiner umfassenden Meta-Analyse hervor, dass digitale Technologien zwar eine Rolle spielen, aber keinen signifikanten Einfluss auf die Lernergebnisse haben. Angesichts dieser gemischten Befunde ist es wichtig, digitale und analoge Lernansätze kritisch zu hinterfragen und ihre jeweilige Eignung im schulischen Kontext, insbesondere im Hinblick auf die sich verändernden Bedürfnisse aktueller Generationen, weiter zu erforschen.

3.2.3 Kreativität im Kontext Lernen

Kreativität nimmt in Bildungskontexten eine zentrale Rolle ein, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung von Kompetenzen in naturwissenschaftlichen Fächern (KMK, 2020). Während Kreativität traditionell meist mit den Künsten assoziiert wird, wächst das Bewusstsein für deren Relevanz auch in anderen Disziplinen, darunter den Naturwissenschaften (Robinson, 2012; Wyse & Ferrari, 2015). Diese Entwicklung basiert auf der Erkenntnis, dass Kreativität nicht nur den Wissenserwerb fördern kann, sondern auch die Anwendung und den Transfer von Wissen er-

3 Synopsis

leichtert, was letztlich zur Genese innovativer Ideen beiträgt und die individuelle Neugierde stimuliert (Lewis, 2008). Die Integration kreativer Ansätze in den naturwissenschaftlichen Unterricht bietet das Potenzial für eine nachhaltigere Wissensvermittlung (Henriksen et al., 2016). Ein besonders vielversprechender Ansatz von Conradty und Bogner (2018) ist *STEAM* (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics), der die Künste mit den naturwissenschaftlichen Fächern verbindet. Dieser integrative Ansatz gilt als effektiver Weg, kognitive Fähigkeiten zu fördern, die in verschiedenen Lebensbereichen angewendet werden können (Conradty & Bogner, 2018). In der wissenschaftlichen Forschung ermöglicht dieser Ansatz eine Neuinterpretation von Problemen und die Entwicklung innovativer Lösungen durch unerwartete Einsichten (DeHaan, 2011).

Der theoretische Hintergrund zum Konzept der Kreativität ist hochkomplex, weswegen keine einheitliche Definition existiert (Corazza, 2016; Plucker & Renzulli, 1999). Für die vorliegende Arbeit wird die Definition von Kreativität im Bildungsbereich übernommen, wie sie von Henriksen et al. (2016) beschrieben wird. Diese Definition betont die Neuartigkeit und Effektivität kreativer Prozesse, ergänzt mit einer subtilen Komponente der Ganzheitlichkeit. Zentral für diese Definition sind die Elemente *Person*, *Feld* und *Domäne*, die als wesentliche, jedoch einzeln nicht ausreichende Komponenten betrachtet werden. Es sind die Interaktionen dieser Komponenten, die einen dynamischen Prozess hervorbringen, der als Kreativität definiert wird. In diesem Kontext spielen soziale Interaktionen und Kommunikation eine Schlüsselrolle bei der Förderung einer kreativen Arbeitsatmosphäre, die Innovationen begünstigt (Perry-Smith, 2014). Solche Innovationen sind sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus sozialer Perspektive von großer Bedeutung und tragen zur Entwicklung effektiver Lösungen für die Herausforderungen der modernen Gesellschaft bei (Aldous, 2007).

Ein weiterer zentraler Aspekt im Zusammenhang mit Kreativität ist das Konzept des *Flow*. *Flow* bezeichnet einen Zustand tiefer Konzentration und völliger Immersion in eine Aufgabe, der durch aktives Handeln (*Act*) initiiert wird (Csíkszentmihályi, 2000). Dieser Zustand fördert kreatives Denken, indem er den ungehinderten Ausdruck von Ideen sowie die Erkundung und Entwicklung neuer Lösungen ermöglicht. *Act* beschreibt dabei das Ergreifen bewusster Handlungen zur Verwirklichung von Ideen oder Absichten. Durch gezieltes Handeln (*Act*) kann ein *Flow*-Zustand ausgelöst werden, in dem die Aufmerksamkeit vollständig auf die Aufgabe gelenkt wird. Dies führt zu einem Zustand erhöhter Konzentration und Immersion, der die ungehinderte Entwicklung und Synthese von Ideen fördert und so innovative Ergebnisse hervorbringen kann (Csíkszentmihályi, 2000; Šimleša et al., 2018). Die kausale Beziehung zwischen *Act*, *Flow* und *Kreativität* basiert somit auf der aktiven Beteiligung, die den *Flow*-Zustand katalysiert und dadurch kreatives Denken und kreativen Ausdruck verstärkt.

Um Kreativität im naturwissenschaftlichen Unterricht empirisch zu messen, kann das Instrument *Cognitive Processes Associated with Creativity* (CPAC) verwendet werden, welches von Miller und Dumford (2016) entwickelt wurde. Conradty und Bogner (2018) haben dieses Instrument weiterentwickelt und es erstmals in naturwissenschaftlichen Bildungsprogrammen angewendet (Conradty & Bogner, 2019). Auch in der vorliegenden Studie wird das CPAC-Instrument verwendet, um die Kreativität der Lernenden im naturwissenschaftlichen Unterricht zu erfassen, wobei ein besonderer Fokus auf den Subskalen *Act* und *Flow* liegt.

In Bildungsumgebungen, die gezielt den *Flow*-Zustand fördern, kann die kreative Leistung der Lernenden signifikant gesteigert werden (Conradty & Bogner, 2018). Kreativität wird auch als entscheidend für die Schaffung einer forschungsbasierten Lernkultur angesehen (Livingston, 2010). Eine solche Kultur fördert die Problemlösungsfähigkeiten der Lernenden und bereitet sie auf die Anforderungen des 21. Jahrhunderts vor (Collard & Looney, 2014). Jedoch haben aktuelle Bildungsstrategien, die sich stark auf Standardisierung und Konformität konzentrieren, unbeabsichtigt dazu geführt, dass kreative Prozesse vielmehr gehemmt als gefördert werden (Kupers et al., 2019). Daher sollte es ein Ziel moderner Bildung sein, Kreativität auch im naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren, um die Lernenden auf eine globalisierte und innovationsgetriebene Zukunft vorzubereiten (Henriksen et al., 2016). Hierbei ist es entscheidend, dass Lehrkräfte Wege finden, Kreativität zu fördern, insbesondere durch die Schaffung eines unterstützenden und dynamischen Lernumfelds, das die Bedürfnisse der Lernenden berücksichtigt und ihre natürliche Neugier und ihren Erfindergeist anregt. In Anbetracht dieser Bedürfnisse gibt es eine wachsende Anzahl von Studien, die innovative, motivierende und unterhaltsame Lernansätze erforschen. Es ist also wenig verwunderlich, dass Ansätze wie Gamification und Game-Based Learning (s. Kapitel 3.2.1) zunehmend als effektive Methoden zur Förderung von Kreativität und zur Steigerung der Lernmotivation anerkannt werden (Anastasiadis et al., 2018).

3.2.4 Umweltwissen und Umwelteinstellungen

Umweltbildung hat das zentrale Ziel, das Bewusstsein und Verständnis für ökologische Zusammenhänge zu fördern und dadurch umweltfreundliches Verhalten zu ermöglichen (The Tbilisi Declaration; United Nations Education, Scientific, and Cultural organization & United Nations environment programme, 1977). Ein wesentlicher Aspekt der Umweltbildung besteht darin, das Umweltwissen der Lernenden zu erweitern und ihre Umwelteinstellungen zu beeinflussen. Umweltwissen umfasst den Informationsstand über ökologische Themen sowie über Entwicklungen und Trends in umweltrelevanten Bereichen. Das Wissen zu nachhaltigen Handlungsoptionen bildet die Grundlage dafür, dass Individuen in der Gesellschaft konstruktiv mitwirken können, indem sie sozio-ökologische Probleme bewerten, Handlungsoptionen abwägen und fundierte Entscheidungen treffen (Hogan, 2002).

3 Synopsis

Obwohl Umweltwissen als entscheidende Voraussetzung für umweltfreundliches Verhalten gilt (Geiger et al., 2019; Heimlich & Ardoin, 2008; Kollmuss & Agyeman, 2002), reicht es allein nicht aus, um nachhaltige Verhaltensänderungen herbeizuführen. Dieses Phänomen, bei dem eine Diskrepanz zwischen vorhandenem Wissen und tatsächlichem Verhalten besteht, wird als *Knowledge-Action-Gap* bezeichnet (Kaiser & Fuhrer, 2003). Es zeigt sich, dass Menschen trotz ausreichendem Wissen über Umweltprobleme häufig keine entsprechenden Verhaltensänderungen vornehmen (Kollmuss & Agyeman, 2002; Kaiser & Fuhrer, 2003; Geiger et al., 2019). Empirische Studien haben mehrfach Zusammenhänge zwischen Umweltwissen und Umwelteinstellungen nachgewiesen (Liefländer & Bogner, 2016; Schneiderhan-Opel & Bogner, 2020; Thorn & Bogner, 2018). Daher sollten Umweltbildungsprogramme nicht nur darauf abzielen, Wissen zu vermitteln, sondern auch gezielt die Umwelteinstellungen der Lernenden fördern, um die Kluft zwischen Wissen und Handeln zu überbrücken. Die Erhebung von Umweltwissen und Umwelteinstellungen in unterschiedlichen Unterrichtskontexten und Altersgruppen ist entscheidend, um deren Zusammenhänge besser zu verstehen und darauf aufbauend wirksame Umweltbildungsstrategien zu entwickeln.

Unter einer Einstellung wird eine psychologische Neigung verstanden, bei der eine bestimmte Entität (z.B. Pizza) und deren Assoziationen (z.B. schmeckt gut) mit einem gewissen Maß an Zustimmung oder Ablehnung bewertet werden (Ajzen & Fishbein, 1977; Eagly & Chaiken, 1993). Umwelteinstellungen beziehen sich auf die persönlichen Überzeugungen, Werte und Haltungen einer Person gegenüber der Umwelt, Umweltfragen und -problemen. Sie beeinflussen maßgeblich, wie jemand Umweltprobleme wahrnimmt und welche Priorität diese in seinem Entscheidungsprozess haben. Im Campbell-Paradigma sind Einstellungen eng mit konkreten Handlungen verknüpft, wobei sowohl deklarative Aussagen als auch beobachtbare Verhaltensweisen als Indikatoren dienen (Campbell, 1963). Eine zentrale Annahme des Campbell-Paradigmas ist, dass Einstellungen durch eine Vielzahl von Verhaltensweisen, die unterschiedlich schwierig umzusetzen sind, ausgedrückt werden. Die Schwierigkeit dieser Verhaltensweisen, oder die „Kosten“, kann variieren und reicht von einfachen, sozial akzeptierten Handlungen bis hin zu anspruchsvolleren, weniger akzeptierten Verhaltensweisen (Campbell, 1963). Laut Kaiser et al. (2010) ist zu erwarten, dass Individuen bewusst zwischen verschiedenen Verhaltensweisen wählen, um ihre Einstellungen kostenwirksam auszudrücken. Personen bevorzugen dabei tendenziell bequemere und weniger anspruchsvolle Verhaltensweisen, um ihre umweltfreundliche Einstellung zu manifestieren. Je ausgeprägter die positive Umwelteinstellung einer Person ist, desto eher ist zu erwarten, dass sie auch anspruchsvollere Verhaltensweisen umsetzt, die mit höheren persönlichen Kosten verbunden sind (Andersen & Mayerl, 2022; Wyss et al., 2022). Je mehr Hinder-

3 Synopsis

nisse eine Person überwindet, desto stärker ist ihr Engagement für das durch die positive Einstellung implizierte Ziel. Dies bedeutet, dass Personen, die bereit sind, größere Anstrengungen zu unternehmen, wie z.B. tägliches Fahrradfahren zur Arbeit oder die Unterstützung von Umweltorganisationen, stärker umweltorientiert sind. Umgekehrt deutet ein Verzicht auf einfache Verhaltensweisen, wie Recycling, auf ein geringeres Engagement hin.

Im Gegensatz zu Campbell schlagen Kaiser et al. (2010) die Verwendung des Rasch-Modells vor, um Raum für individuelle Präferenzen und kontextuelle Unregelmäßigkeiten zu lassen. Das Rasch-Modell beschreibt ebenso wie Guttman (z.B. Guttman, 1944) die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person ein bestimmtes Verhalten zeigt, als Funktion der Differenz zwischen der Stärke ihrer Einstellung und der Schwierigkeit des Verhaltens, jedoch erweitert durch die Honorierung individueller und umweltbezogener Variationen (Bond & Fox, 2001; Embretson & Reise, 2000). Dadurch können sowohl die transitive Schwierigkeitsreihenfolge von Verhaltensweisen innerhalb einer Kohorte als auch das individuelle Einstellungsniveau einer Person erfasst werden.

Aktuelle Forschung zeigt, dass Umwelteinstellungen eng mit umweltfreundlichem Verhalten verknüpft sind. Positive Umwelteinstellungen korrelieren oft mit einem höheren Engagement in umweltfreundlichen Handlungen (z.B. Baierl et al., 2022). Aus den zahlreichen in der Literatur existierenden Konstrukten zur Messung von Umwelteinstellungen wurden für diese Studie die *Attitude toward Nature*-Skala (AN; Baierl et al., 2024: Eine Zusammenstellung von Items aus Brügger et al., 2011 und Bogner & Wiseman, 2004), die *Environmental Attitude*-Skala (EA; Baierl et al., 2022) und die *Inclusion of Nature in Self*-Skala (INS; Liefländer & Bogner, 2016; Schultz, 2002) als Messinstrumente für die Umwelteinstellungen der Teilnehmenden ausgewählt. Obwohl es Hinweise darauf gibt, dass sowohl die AN als auch die EA entscheidend für umweltfreundliches Engagement sind (z.B. Kesenheimer & Greitemeyer, 2021), ist wenig über die Beziehung beider Einstellungen im schulischen Kontext bekannt. Dies gilt insbesondere für AN, da es bisher nur wenig Forschung zu Jugendlichen gibt (Barrera Hernández et al., 2020; Cheng & Monroe, 2012). Krettenauer (2017) beschreibt die Jugend jedoch als relevante Phase der Einstellungsbildung. Schulen haben folglich das Potential als Plattformen für die Entwicklung von Umwelteinstellungen zu fungieren, weswegen mehr Forschung in dieser Altersgruppe nötig ist.

Ein Großteil der bisherigen Forschung zur Veränderung der AN basiert auf umfangreichen Outdoor-Aktivitäten, die im Schulalltag schwer umsetzbar sind (Bogner & Wiseman, 2004). Daher werden in dieser Studie zwei selbstgesteuerte EduBreakouts über den Wald und dessen Gefährdungen als eine im regulären Klassenzimmerunterricht besser umsetzbare Intervention eingesetzt. Während die positiven Auswirkungen von Umwelteinstellungen und Umweltwissen auf umweltfreundliches Verhalten gut dokumentiert sind (Kaiser et al., 2007; P. Liu et al., 2020), gibt es, wie bereits erwähnt, nur begrenzte Forschung zur AN bei Jugendlichen. Diese Studie hat das

3 Synopsis

Ziel, zur Schließung der bestehenden Forschungslücke beizutragen, indem sie die Rolle der AN im Lernprozess untersucht, insbesondere im Hinblick auf Jugendliche. Beide Einstellungen – EA und AN – gelten als motivationale Treiber für ein anhaltendes umweltfreundliches Engagement (Taube & Vetter, 2019). EA spiegelt die Neigung und das Engagement wider, sich für den Naturschutz einzusetzen oder umweltschädigendes Verhalten zu reduzieren (Kaiser et al., 2010; Kaiser et al., 2007). AN hingegen beschreibt die Neigung, die Natur zu schätzen und zu genießen, und ist eng verbunden mit der Naturverbundenheit einer Person (Zelenski & Nisbet, 2014) oder ihrer Umweltidentität (Clayton, 2003), was mit der wahrgenommenen Verbundenheit des Selbst mit der Natur übereinstimmt (Schultz, 2002). Die Literatur zeigt, dass je stärker die AN einer Person ist, desto eher engagiert sie sich in umweltfreundlichem Verhalten (Frantz & Mayer, 2014; Markowitz et al., 2011; Whitburn et al., 2019). Daher ist für diese Studie zu erwarten, dass Menschen mit einer positiven AN stärker zur Erhaltung und zum Schutz der Natur beitragen, was sich in einer positiveren EA widerspiegelt. Eine kürzlich durchgeführte Studie deutet auf eine kausale Beziehung zwischen diesen beiden Einstellungen hin: EA scheint den Einfluss der AN auf das Umweltwissen zu medieren (Baierl et al., 2024). Dies deutet darauf hin, dass AN ein Vorläufer der EA ist. Je stärker die AN einer Person ist, desto stärker ist auch ihre EA und ihr Engagement für umweltfreundliches Verhalten.

Daher ist es wichtig, dass Umweltbildungsprogramme nicht nur Wissen vermitteln, sondern auch darauf abzielen, die Einstellungen der Lernenden zu formen und zu stärken, um langfristige Verhaltensänderungen zu erreichen. Während Wissen die notwendige Grundlage für fundierte Entscheidungen bietet, sind Einstellungen entscheidend für die Motivation, dieses Wissen in die Tat umzusetzen. Die effektive Integration von Wissen und Einstellungen in Bildungsprogramme kann helfen, die *Knowledge-Action-Gap* zu überwinden und nachhaltiges Umweltverhalten zu fördern. Die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Wissenserwerb, Umwelteinstellungen und Verhalten ist daher von zentraler Bedeutung, um ein umfassenderes Verständnis darüber zu gewinnen, wie Umweltbildung optimiert werden kann, um sowohl Wissen als auch tatsächliches Verhalten nachhaltig zu beeinflussen.

3.3 Ziele und Fragestellungen der Teilarbeiten

Diese Dissertation untersucht verschiedene Aspekte der Umweltbildung im Kontext des Waldes. Der Schwerpunkt liegt zunächst auf der effektiven Vermittlung von umweltbezogenem Wissen durch zwei selbstentwickelte Unterrichtsmodule im Escape-Game-Design: ein analoger und ein rein digitaler EduBreakout, die beide auf das Ökosystem *Wald* und damit verbundene Umweltprobleme für die 8. Jahrgangsstufe ausgerichtet sind (Teilstudie A). Basierend auf diesen Modulen wird der Unterschied im kurz- und langfristigen Wissenserwerb verglichen (Teilstudie B) und anschließend die Einflussfaktoren Kreativität (Teilstudie C) und Umwelteinstellungen (Teilstudie D) auf den Lernprozess der Teilnehmenden untersucht (siehe Abbildung 3).

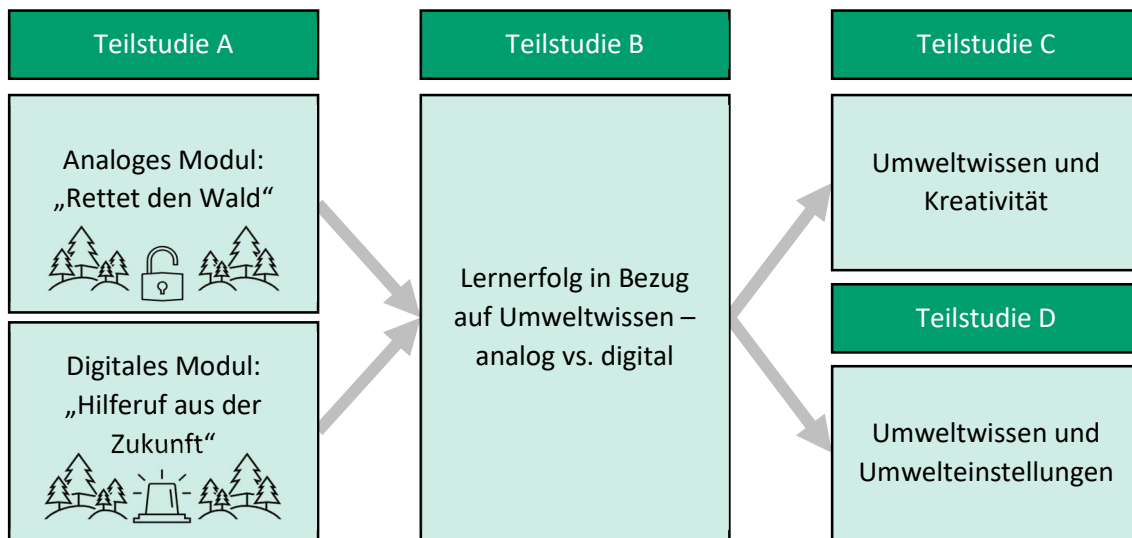


Abbildung 3: Darstellung der vier Teilstudien A-D im Rahmen dieser Dissertation: Teilstudie A: Konzeption von EduBreakouts zur Umweltbildung im Kontext „Ökosystem Wald“, Teilstudie B: Vergleich des kurz- und langfristigen Wissenserwerbs durch den analogen und den digitalen EduBreakout, Teilstudie C: Der Einfluss von Kreativität auf den Lernerfolg in EduBreakouts, Teilstudie D: Einfluss von Umwelteinstellungen auf den Wissenserwerb.

Teilstudie A: Konzeption von EduBreakouts zur Umweltbildung im Kontext „Ökosystem Wald“

Zum Zeitpunkt der Themenfindung für die Promotion befand sich die COVID-19-Pandemie noch auf einem Hochpunkt. Quarantänemaßnahmen und Homeschooling gehörten daher zum Schulalltag und damit auch rein digitale Lernmethoden, über deren Effektivität unter den Lehrkräften rege diskutiert wurde. Basierend auf diesen Diskussionen wurde diese Studie entwickelt, in der rein digitale Lernmethoden mit bekannten analogen Lernmethoden hinsichtlich ihrer Effektivität verglichen werden sollten. Das primäre Ziel von Teilstudie A war die Entwicklung zweier adäquater und inhaltlich identischer Unterrichtsmodule als EduBreakouts zur Umweltbildung, die den Vorgaben des LehrplanPLUS für bayerische Gymnasien entsprechen und sich lediglich in der Auf-

bereitung der Inhalte unterscheiden. Aufgrund der bisher begrenzten Forschungslage bei Jugendlichen wurden Schülerinnen und Schüler der 8. Jahrgangsstufe als Studienkohorte ausgewählt.

Der LehrplanPLUS behandelt das umfassende Thema *Ökologie* in jeder Jahrgangsstufe, wobei jeweils unterschiedliche Ökosysteme oder Teilaspekte betrachtet werden (ISB, 2024a). Da die Ökosysteme Grünland (Jahrgangsstufe 5, ISB, 2024e), Gewässer (Jahrgangsstufe 6, ISB, 2024f) und Boden (Jahrgangsstufe 9, ISB, 2024d) bereits in anderen Jahrgangsstufen fest verortet sind, wurde für die Konzeption der Wald als ortsnahes Ökosystem passend zum Lehrplankapitel „B8 Lernbereich 6: Ökosysteme unter dem Einfluss des Menschen“ (ISB, 2024c) gewählt. Dieses Lehrplankapitel fordert eine Auseinandersetzung mit Veränderungen der Ökosystemzusammensetzung (u.a. Sukzession und Artenkenntnis), menschlichen Eingriffen in ein ortsnahes Ökosystem (z.B. durch Forstwirtschaft) sowie mit Nachhaltigkeitsthemen („Konzept der nachhaltigen Entwicklung, ökologischer Fußabdruck, Möglichkeit zur Beeinflussung durch Konsumverhalten und politisches Engagement“, ISB, 2024c). Zur Förderung vernetzten Lernens wurden alle genannten Themenfelder in die vierstündigen Unterrichtsmodule integriert. Die inhaltliche Fülle wurde didaktisch reduziert und kompetenzorientiert in Form von EduBreakouts aufbereitet, so dass die Lernenden alle wesentlichen Kerneinsichten eigenständig erarbeiten können, ohne vom Umfang überfordert zu werden. Um eine effektive und altersgerechte Lernumgebung zu schaffen, wurden die Unterrichtsmodule so konzipiert, dass sie durch ein selbstbestimmtes, lernendenzentriertes Vorgehen sowohl den nachhaltigen Wissenserwerb fördern als auch ein Verantwortungsbewusstsein für den Schutz der Wälder zu entwickeln.

Teilstudie B: Vergleich des kurz- und langfristigen Wissenserwerbs durch den analogen und den digitalen EduBreakout

Der Schwerpunkt der zweiten Teilstudie liegt auf dem Vergleich des Wissenserwerbs durch das analoge und das digitale Unterrichtsmodul (Teilstudie A). Ziel war es, den Einfluss beider EduBreakouts auf den Wissenszuwachs der Lernenden zu untersuchen, wobei besonderes Augenmerk auf die Unterschiede im kurz- und langfristigen Wissenserwerb gelegt wurde. Zur Bewertung der Effektivität beider Module wurden die Wissenszuwächse der Lernenden unmittelbar nach der Unterrichtseinheit sowie nach mehreren Wochen gemessen. Ein unmittelbarer Wissenszuwachs war bei beiden Modulen zu erwarten, weswegen der Fokus besonders auf den möglichen Unterschieden zwischen den Gruppen und ihrer Wissensretentionsleistungen gelegt wurde.

Daraus ergeben sich diese konkreten Fragestellungen:

3 Synopsis

1. Führen die beiden Unterrichtsmodule zu einem signifikanten Wissenszuwachs?
2. Gibt es signifikante Unterschiede im Wissenszuwachs der Lernenden nach einem digitalen bzw. analogen Unterrichtsmodul gleichen Inhalts?
3. Welche Unterschiede in der Wissensretentionsleistung zeigen sich zwischen der digitalen und der analogen Interventionsgruppe?

Teilstudie C: Der Einfluss von Kreativität auf den Lernerfolg in EduBreakouts

In dieser Teilstudie steht die Erforschung der Bedeutung von Kreativität und deren Einfluss auf den Lernerfolg im Vordergrund. Es soll untersucht werden, wie Kreativität das Lernen in EduBreakouts beeinflusst und ob geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen. Die Untersuchung basiert auf dem verkürzten Kreativitätsfragebogen (CPAC – *Cognitive Processes Associated with Creativity*; Conrady & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b), der die Ausprägung der Kreativität in den Subskalen „Act“ und „Flow“ misst. Die Ergebnisse sollen mit der Wissenserhebung (Teilstudie B) sowie der Teilnahme an den Unterrichtsmodulen (entweder digital oder analog; Teilstudie A) in Verbindung gebracht werden.

Vor diesem Hintergrund leiten sich folgende Forschungsfragen ab:

1. Ist der verkürzte Kreativitäts-Fragebogen für die Studienkohorte geeignet?
2. Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Kreativität und deren Zusammenhang mit den Lernergebnissen?
3. Wie beeinflusst Kreativität den Wissenserwerb der Lernenden in EduBreakouts?
4. Gibt es Unterschiede zwischen den digitalen und den analogen Interventionsgruppen?

Teilstudie D: Einfluss von Umwelteinstellungen auf den Wissenserwerb

In der letzten Teilstudie wird der Zusammenhang zwischen den Umwelteinstellungen (*Attitude toward Nature* – AN [Baierl et al., 2024: Items aus Brügger et al., 2011 und Bogner & Wiseman, 2004], *Environmental Attitude* - EA [Baierl et al., 2022] und *Inclusion of Nature in Self* – INS [Liefländer & Bogner, 2016; Schultz, 2002]) der Lernenden und ihrem Wissenserwerb (Teilstudie B) untersucht. Es wird angenommen, dass positive Umwelteinstellungen förderlich für die Lernleistung sind, während negative Einstellungen den Wissenserwerb beeinträchtigen (Baierl et al., 2024; Schneiderhan-Opel & Bogner, 2020). Ferner wird untersucht, inwiefern die beiden Unter-

3 Synopsis

richtsmodule (Teilstudie A) die Einstellungen der Lernenden beeinflussen. Das Ziel dieser Untersuchung ist es folglich aufzuzeigen, welche Rolle Umwelteinstellungen im Bildungsprozess spielen. Die Ergebnisse sollen Lehrkräfte und Bildungsverantwortliche dabei unterstützen, Bildungsstrategien zu entwickeln, die das Umweltwissen und -verhalten der Lernenden gleichermaßen verbessern sollen. Studien dieser Zielsetzung haben sich bisher jedoch hauptsächlich auf Erwachsene konzentriert. Da die Adoleszenz allerdings als eine Phase der Einstellungsbildung gilt, haben Schulen das Potenzial, als Plattformen zu dienen, um Jugendliche zu einem umweltfreundlicheren Lebensstil zu führen. Daher wird unter anderem ein Item-Pool von Baierl et al. (2024) verwendet, der erst kürzlich für die Erhebung der Natureinstellung (AN) bei Jugendlichen eingeführt wurde, und dessen Praktikabilität für Lernende der 8. Jahrgangsstufe überprüft.

Somit ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

1. Wie praktikabel ist der kürzlich in der Adoleszenzforschung eingeführte Item-Pool zur Erhebung der Natureinstellung (AN) in der gewählten Kohorte?
2. Wie beeinflussen Umwelteinstellungen den Wissenserwerb von Lernenden der 8. Jahrgangsstufe?
3. Verbessern die Unterrichtsmodule die Umwelteinstellungen der Lernenden?

3.4 Methoden

Im Folgenden werden die Stichproben, das Studiendesign, die Messinstrumente und die statistischen Analysen der vier Teilstudien dargestellt.

3.4.1 Stichprobe und Studiendesigns

Im Zeitraum von Juni 2022 bis Februar 2023 nahmen insgesamt 704 Schülerinnen und Schüler der 8. Jahrgangsstufe aus 36 Schulklassen an sieben bayerischen Gymnasien ($M_{Alter} \pm SD = 13,91 \pm 1,20$ Jahre; 53,6 % weiblich; 43,5 % männlich) in ländlichen und städtischen Regionen an den Unterrichtsmodulen teil. Für die Teilnahme war das schriftliche Einverständnis sowohl der Erziehungsberechtigten als auch das der Lernenden erforderlich. Die Datenerhebung wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst unter dem Aktenzeichen IV.7-BO4106.2022/6/13 am 31.05.2022 genehmigt. Aufgrund logistischer Überlegungen, einschließlich des hohen Materialaufwands im Zusammenhang mit dem analogen EduBreakout und des eingeschränkten Präsenzunterrichts, während der COVID-19-Pandemie, wurde die Entscheidung zur Teilnahme am analogen oder digitalen Unterrichtsmodul auf Schulebene getroffen, ohne Kenntnisstand über die Lernenden (z.B. sozialer Hintergrund, etc.). Auf Basis dieser praktischen Einschränkungen wurden die Stichprobengrößen ($n_{analog} = 233$; $n_{digital} = 472$) als angemessen für die Ziele dieser Studie erachtet.

Die Datenerhebung wurde zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten mittels digitaler Fragebögen durchgeführt (Microsoft Forms, vgl. Anhänge C-H). Der erste Erhebungszeitpunkt (Vortest – T1) lag etwa zwei Wochen vor der Teilnahme am jeweiligen Unterrichtsmodul. Direkt im Anschluss an die Unterrichtseinheit erfolgte der zweite Test (Nachtest – T2), während der Dritte (Behaltenstest – T3) etwa 6–9 Wochen nach der Durchführung angesetzt war. Das Studiendesign sowie die Fragebogenbestandteile können Abbildung 4 entnommen werden.

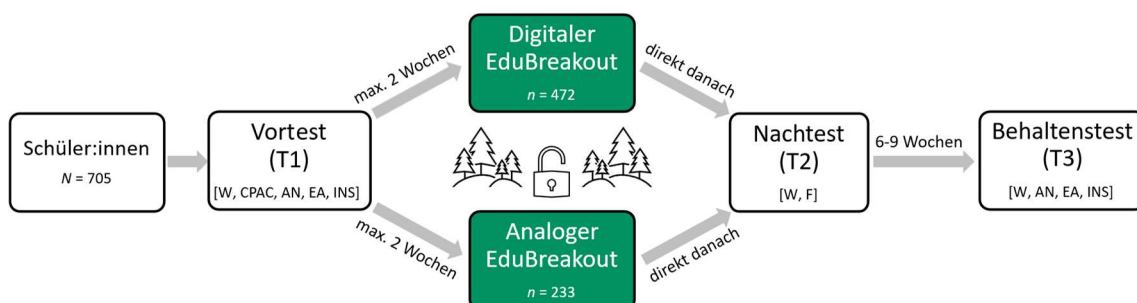


Abbildung 4: Studiendesign einschließlich des Zeitrahmens der Auswertung (T1, T2, T3) für die digitale und analoge Intervention mit den ursprünglichen Stichprobengrößen. Die Buchstabenabkürzungen stehen für die eingesetzten Fragebögen: W = Wissensfragebogen, CPAC = *Cognitive Processes Associated with Creativity* (Conradt & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b), AN = *Attitude toward Nature* (Baierl et al., 2024; Items aus Brügger et al., 2011 und Bogner & Wiseman, 2004), EA = *Environmental Attitude* (Baierl

3 Synopsis

et al., 2022), INS = *Inclusion of Nature in Self* (Schultz, 2002), F = freiwilliges Freitextfeedback zu den Unterrichtsmodulen durch die Lernenden und freiwilliges Feedback der Lehrkräfte in Form eines Online-Fragebogens.

Die Bearbeitungsdauer betrug für die Befragungen T1 und T3 jeweils ca. 25-30 Minuten, wohingegen das Ausfüllen des Nachtests T2 lediglich ca. 10-15 Minuten in Anspruch nahm. Eine zeitliche Begrenzung der Bearbeitung wurde dabei nicht vorgegeben. Zur sicheren, aber anonymisierten Verknüpfung der Daten einzelner Teilnehmender über die drei Erhebungszeitpunkte hinweg, wurde ein pseudonymisierter Code eingesetzt. Dieser setzte sich zusammen aus Geburtsmonat und -jahr, den ersten beiden Buchstaben des Vornamens, den ersten beiden Ziffern der Hausnummer, den ersten beiden Buchstaben des Schulortes sowie dem angegebenen Geschlecht (männlich/weiblich/divers).

Aufgrund der zum Erhebungszeitpunkt weiter anhaltenden COVID-19-Pandemie und der drei festgelegten Testzeitpunkte kam es bei jedem Testzeitpunkt zu beträchtlichen Teilnahmeausfällen. Daher konnten für den Nachtest (T2) nur noch 613 Datensätze und für den Behaltenstest (T3) nach 6–9 Wochen, 488 Datensätze erhoben werden. Für die Auswertung der Teilarbeiten wurden ausschließlich Datensätze einbezogen, bei denen sich alle drei Testzeitpunkte zu einer Person zuordnen ließen oder mindestens T1 und T3. In Tabelle 1 sind die Stichprobengrößen für die Teilstudien B, C und D aufgelistet. Die Unterschiede in den Stichprobengrößen resultieren daraus, dass für manche Teilstudien lediglich Daten aus T1 und T3 benötigt werden, während bei anderen Teilstudien die Daten aller Testzeitpunkte erforderlich sind. Da in Teilstudie A die Entwicklung der Unterrichtseinheiten im Zentrum stand, war für diese keine Stichprobe erforderlich.

Tabelle 1: Informationen zum Altersdurchschnitt, Geschlechterverteilung und Stichprobengröße der drei quantitativen Teilarbeiten. Lernende, die ihr Geschlecht nicht angegeben haben, wurden bei der Berechnung der Geschlechterverteilung nicht berücksichtigt.

Teilarbeit	Verwendete Daten	M_{Alter} (SD)	Geschlecht	N
Teilarbeit B	W-T1, T2, T3	13,79 (0,87)	♀: 58,9 % (n = 175) ♂: 39,8 % (n = 120)	299
Teilarbeit C	W-T1, T2, T3; CPAC	13,85 (0,97)	♀: 57,5 % (n = 226) ♂: 40,5 % (n = 159)	393
Teilarbeit D	W-T1, T2, T3; AN; EA; INS	13,85 (0,97)	♀: 57,5 % (n = 226) ♂: 40,5 % (n = 159)	393

Anmerkungen: W = Wissensfragebogen, CPAC = *Cognitive Processes Associated with Creativity* (Conradt & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b), AN = *Attitude toward Nature* (Baierl et al., 2024: Items aus Brügger et al., 2011 und Bogner & Wiseman, 2004), EA = *Environmental Attitude* (Baierl et al., 2022), INS = *Inclusion of Nature in Self* (Schultz, 2002), M = Mittelwert, SD = Standardabweichung.

3.4.2 Ausführliche Beschreibung und didaktische Begründung der Unterrichtsmodule

Wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, wurden für diese Arbeit zwei inhaltlich identische Unterrichtsmodule entwickelt, die sich lediglich in ihrer Darbietung (digital vs. analog) unterscheiden. Die Module „Rettet den Wald!“ (analog) und „Hilferuf aus der Zukunft“ (digital) wurden als Edu-Breakouts für eine Dauer von ca. vier Schulstunden (180 Minuten Bearbeitungszeit, plus jeweils 20 Minuten für den Einstieg und die Instruktionen bzw. Reflexion des Lernerfolgs) konzipiert. Je nach organisatorischen Gegebenheiten der teilnehmenden Schulen wurden die Module entweder in zwei Doppelstunden-Blöcken oder am Stück durchgeführt. Die Durchführung erfolgte bei allen teilnehmenden Schulklassen durch die jeweiligen Lehrkräfte, während die Klassen der Autorin von ihr selbst angeleitet und betreut wurden. Alle beteiligten Lehrkräfte wurden im Vorfeld von der Autorin schriftlich und über Videochat instruiert. Sie wurden gebeten, die im Unterrichtsmodul behandelten Inhalte vor Beginn der Intervention nicht zu thematisieren und keine Nachbereitung der Module vor Abschluss des Behaltenstests vorzunehmen. Darüber hinaus erhielten sie das entsprechende Lehrkräftehandbuch (Anhang A.3 bzw. B.3), das eine Liste aller (zusätzlich) erforderlichen Materialien sowie die Lösungsvorschläge und eine Übersicht über die Lösungscodes enthält. Die Unterrichtsmaterialien wurden so konzipiert, dass die Lernende kein spezifisches Vorwissen benötigen. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass alle gleichermaßen von den Modulen profitieren können.

3.4.2.1 Das analoge Unterrichtmodul – „Rettet den Wald!“

Der grundsätzliche Aufbau des analogen EduBreakouts, wurde aus Gründen der Materialeffizienz wie ein Stationenlernen gestaltet. Alle Stationen wurden von einem Arbeitsheft (Anhang A.2) begleitet und konnten von den Lernenden eigenständig bearbeitet werden. An jeder Station erarbeiten die Lernenden einen Code – einen der Schlüssel zur Rettung des Waldes, mit dem eines der neun Schlösser an einer verschlossenen Truhe geöffnet werden kann, die eine kleine für die Lernenden unbekannte Belohnung enthält (Abbildung 5). Um Wartezeiten zu vermeiden, sollten alle Stationen doppelt aufgebaut werden.

3 Synopsis



Abbildung 5: Beispielhafter Aufbau des analogen Unterrichtsmoduls „Rettet den Wald!“. Die mit neun Schlössern gesicherte Kiste kann nur mit den Zahlenkombinationen geöffnet werden, die die Lernenden an den Stationen durch das Lösen von Rätseln und Aufgaben mithilfe der bereitgestellten Materialien und des Arbeitshefts erarbeiten.

Zur Förderung kooperativen Lernens, wurden alle Aufgaben an den neun Stationen (Abbildung 6) in Gruppen von drei bis vier Personen bearbeitet, die die Lernenden selbst bilden durften. Für schnell arbeitende Gruppen wurden abschließende Rätsel und ein Spiel erstellt, bei denen die Lernenden ihr neu erworbenes Wissen auf die Probe stellen konnten.

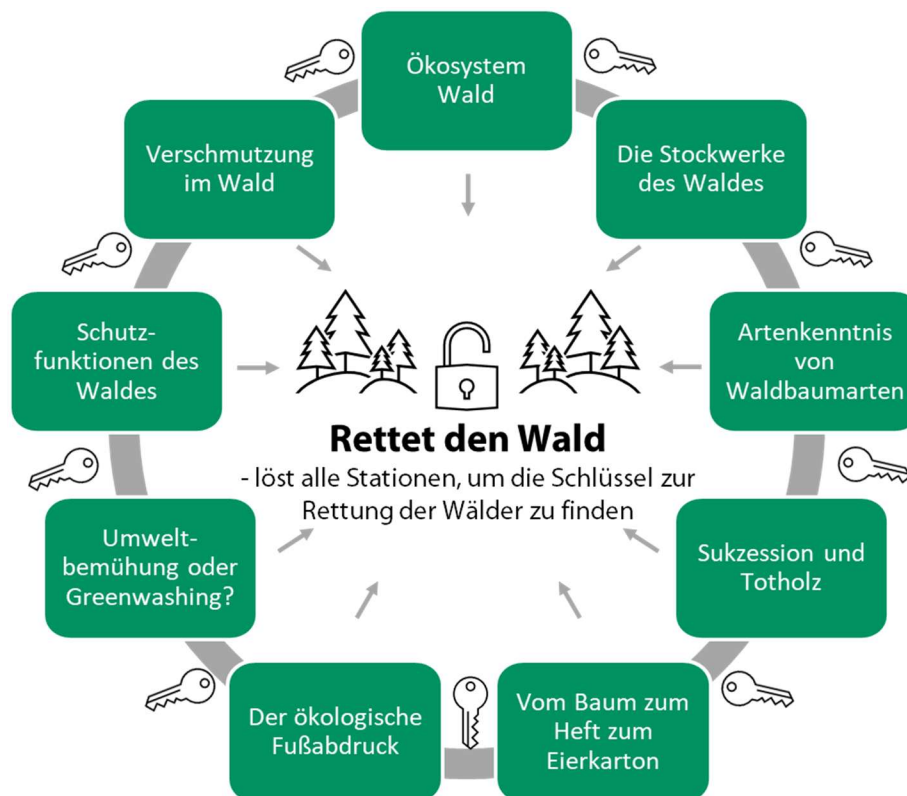


Abbildung 6: Übersicht über die neun Stationen des analogen Unterrichtsmoduls „Rettet den Wald!“.

3 Synopsis

Alle Lernenden erhielten zu Beginn des Moduls ein Arbeitsheft (Anhang A.2), das alle Aufgaben für jede Station enthält. Die Aufgaben sind selbsterklärend und die Lernenden können in ihrem eigenen Tempo ungestört arbeiten. Die Lehrkraft fungiert lediglich als Tutor und hat ausreichend Zeit, um diejenigen zu unterstützen, die Hilfe benötigen. Durch das Bearbeiten der erforderlichen Aufgaben an jeder Station generieren die Lernenden einen Code, um eines der neun Zahlenschlösser zu öffnen. Wenn sich das Schloss öffnet, ist der Code und somit auch die Lösung korrekt; wenn nicht, müssen die Aufgaben überarbeitet werden. Dies stellt sicher, dass die Lernenden tatsächlich die Aufgaben lösen und nicht nur die Musterlösungen abschreiben.

Einstieg und Instruktionen. Die Lehrkraft beginnt die Unterrichtseinheit, indem sie eine Audioaufnahme von Waldgeräuschen abspielt. Die Lernenden werden eingeladen, zu beschreiben, was sie hören und wo sie glauben, dass die Aufnahme gemacht wurde. Dies soll ihre Aufmerksamkeit wecken und Assoziationen hervorrufen. Sie werden die Geräusche als Vogelgesang und Blätterrauschen identifizieren und vermuten, dass die Aufnahme in einem Wald gemacht wurde. Anschließend bestätigt die Lehrkraft die Vermutung, indem sie eine Präsentationsfolie (Anhang A.1) mit einem Bild eines gesunden Waldes zeigt. Um auf die Umweltproblematik der Waldzerstörung überzuleiten, wechselt die Lehrkraft zu Bildern von brennenden, abgeholzten, verschmutzten und kranken Wäldern. Diese Bilder könnten Emotionen hervorrufen und den Lernenden die schwierige Lage vieler Wälder verdeutlichen. In diesem Zusammenhang wird die zentrale Frage „Was können wir tun, um unsere Wälder zu retten?“ gestellt, die die Lernenden zu aktivem Handeln auffordern soll. Nachdem die Lehrkraft die Arbeitshefte ausgeteilt und kurze Anweisungen zum Ablauf des Lernmoduls (weitere Präsentationsfolien) gegeben hat sowie sich die Lernenden in Gruppen eingefunden haben, kann mit der Arbeit an den Stationen begonnen werden.

Station 1: Der Wald – ein wichtiges Ökosystem. Hier wird die Definition des Begriffs „Ökosystem“ rekapituliert, der bereits aus den Jahrgangsstufen 5 und 6 bekannt ist, und eigenständig je eine Definition für abiotische und biotische Faktoren erarbeitet. Die Lernenden verwenden dafür eine Abbildung des Ökosystems See und übertragen ihr erworbenes Wissen auf das Wald-Ökosystem. Anstatt eine vorgegebene Definition zu erhalten, ist es erforderlich, dass die Lernenden die Abbildungen genau betrachten, um die Kernelemente identifizieren zu können und eine passende Definition zu finden. Nachdem sie ihre Lösungen mit der Musterlösung überprüft haben, müssen sie ihr erworbenes Wissen anwenden, um das Schnur-Verbindungsrätsel, ähnlich zu einem „Bandolino“ (Auer Verlag, 2024), zu lösen und so den ersten Schlosscode zu erhalten.

Station 2: Die Stockwerke des Waldes. Um sicherzustellen, dass sich alle Lernenden beteiligen, lesen sie abwechselnd Informationskarten über die Stockwerke des Waldes vor und verwenden diese, um eine Abbildung im Arbeitsheft zu beschriften. Anschließend führen sie ein einfaches,

aber anschauliches Modellexperiment durch, bei dem sie den Wasserdurchfluss von mit Kies bedeckter Erde im Vergleich zu von frischem Moos bedeckter Erde messen, protokollieren und grafisch darstellen. Dieses Experiment verdeutlicht die Bedeutung der Moosschicht als Wasserspeicher und schult naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und -techniken. In weiterführenden Aufgaben vertiefen die Lernenden ihr erworbenes Wissen, insbesondere im Kontext des grundlegenden biologischen Prinzips der Anpasstheit.

Station 3: Welche Bäume wachsen im Wald? In einer kürzlich durchgeführten Studie berichteten Cazzolla-Gatti et al. (2022), dass weltweit 64.088 Baumarten bekannt sind – bereits 14.071 davon in Eurasien. Kinder und Jugendliche kennen die Logos zahlreicher Marken, aber die Erfahrung zeigt, dass die meisten von ihnen nicht einmal zehn heimische Baumarten benennen können. Um die Artenkenntnis der Lernenden über heimische Waldbäume zu verbessern und gleichzeitig naturwissenschaftliche Arbeitsweisen zu trainieren, verwenden sie einen vereinfachten Bestimmungsschlüssel, um vier Baumarten anhand ihrer Blätter zu identifizieren. Die Lehrkräfte konnten entscheiden, ob sie frische Blätter oder das bereitgestellte Set mit Blattabbildungen verwenden möchten. Bereitgestellte Informationskarten bieten weiterführende Informationen für Interessierte und können die Lernenden bei der Identifizierung unterstützen. Ob die Identifizierung erfolgreich war, kann mit der Codetabelle überprüft werden. Wenn der dechiffrierte Code (jede Baumart entspricht einer Ziffer) das Schloss öffnet, wurden die Baumarten korrekt bestimmt. Auf diese Weise ist keine Musterlösung erforderlich und eine intensivere und bei Bedarf wiederholte Beschäftigung mit dem Bestimmungsschlüssel wird erreicht.

Station 4: Sturmschäden und Sukzession. Auch in Deutschland verursachen Stürme regelmäßig gravierende Schäden, nicht nur an Gebäuden, sondern auch in den Wäldern. Den Lernenden ist aus den Medien oder vielleicht aus eigenen Erfahrungen bekannt, wie verheerend die Folgen für die Bevölkerung und die Natur sein können. An dieser Station untersuchen die Lernenden die Auswirkungen von Sturmschäden auf Wälder und wägen Handlungsmöglichkeiten ab, mit Totholz umzugehen. Darüber hinaus lernen sie die Stadien der Sukzession kennen und erarbeiten unter der Anwendung des Basiskonzepts „Struktur und Funktion“ (ISB, 2024b), warum das Schmalblättrige Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*) zu den ersten Pflanzenarten gehört, die ein brachliegendes Gebiet nach einem Sturmschaden besiedeln. Diese Pflanze wurde nach dem Prinzip des Exemplarischen (Scheuerl, 1964) ausgewählt, da diese Pionierart in Bayern weit verbreitet ist und exemplarisch grundlegende biologische Prinzipien wie die Anpasstheit und den Konkurrenzausschluss verdeutlicht. Um das nächste Schloss zu öffnen, müssen die Lernenden ihre Antworten mit den Lösungsvorschlägen überprüfen. Diese sind jedoch nicht in Form

von Musterlösungen gestaltet, sondern präsentieren mögliche Lösungen, von denen sie die korrekten wählen müssen. Die aus den Antworten erhaltenen Ziffern für das Zahlenschloss bestätigen ihre Antwortauswahl, wenn sich das Schloss öffnen lässt.

Station 5: Vom Baum zum Heft zum Eierkarton. Die Papierproduktion verbraucht Ressourcen wie Holz, Wasser und Energieträger. Papierprodukte können jedoch bis zu sieben „Leben“ haben, vorausgesetzt sie werden richtig recycelt. Auf diese Weise können große Mengen an Ressourcen gespart werden. Diese Station wurde entwickelt, um das Bewusstsein der Lernenden für die Bedeutung der korrekten Mülltrennung für eine hohe Recyclingquote zu schärfen und zu zeigen, wie sie selbst etwas zum Umweltschutz und vor allem zum Schutz der Wälder beitragen können. Sie erhalten einen Einblick in die Papierproduktion und werden sich des Ressourcenverbrauchs bewusst, während sie verschiedene Aussagen materialgestützt auf ihre Korrektheit überprüfen. Anschließend sollen die Lernenden entscheiden, in welchen Müll (Restmüll oder Papiertonne) sie die ausliegenden Papierprodukte entsorgen würden. Sie können die auf den Gegenständen geschriebenen Lösungen mit dem Licht des ausliegenden Geheimtintenstifts sichtbar machen und ihre Antworten überprüfen. Zum Schluss bewerten die Lernenden verschiedene Hefte hinsichtlich ihrer Umweltfreundlichkeit, indem sie sich die darauf abgedruckten Umweltsiegel ansehen und hinsichtlich ihrer Anforderungen vergleichen.

Station 6: Der ökologische Fußabdruck. Wie stark der eigene Lebensstil die Umwelt beeinflusst und wie viele Erden benötigt würden, wenn alle so leben würden, lässt sich durch den ökologischen Fußabdruck veranschaulichen. Die Lernenden informieren sich über das Konzept des ökologischen Fußabdrucks, ermitteln ihren eigenen Fußabdruck mithilfe des Online-Rechners des Global Footprint Network (o. D.) und vergleichen ihn mit dem von Deutschland und der Welt. Sie untersuchen die Auswirkungen einer Reduktion eines selbstgewählten Faktors, diskutieren ihre Ergebnisse und sammeln Tipps für Verhaltensweisen, die den ökologischen Fußabdruck verringern können auf einem Poster, das am Ende des Moduls im Klassenraum aufgehängt werden kann. Um den Schlosscode zu erhalten, müssen die Lernenden ein Puzzle lösen und eine dadurch leserlich werdende Frage korrekt beantworten.

Station 7: Umweltbemühungen oder Nachhaltigkeitsschwindel? — Das bedeuten „nachhaltig“, „klimaneutral“ und „CO₂-neutral“. Diese Begriffe werden in den Medien inzwischen fast inflationär verwendet. Allerdings kennen nur wenige Menschen deren exakte Definition. Deshalb setzen sich die Lernenden an dieser Station mit jenen Begriffen auseinander. Zur Förderung des Textverständnisses der Lernenden, sollen die wichtigsten Informationen markiert und Verständnisfragen beantwortet werden. Wenn von Nachhaltigkeit die Rede ist, denken die meisten Menschen ausschließlich an ökologische Aspekte (Zeegers & Francis Clark, 2014). Für eine nach-

3 Synopsis

haltige Entwicklung ist es jedoch entscheidend, dass die Möglichkeiten zukünftiger Generationen nicht eingeschränkt werden und sie ihre Bedürfnisse weiterhin befriedigen können. Daher müssen neben ökologischen auch soziale und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden. Dies wird den Lernenden durch die Einführung des Modells der drei Säulen der Nachhaltigkeit verdeutlicht.

Station 8: Die Schutzfunktionen des Waldes. Die meisten Lernenden sind sich darüber bewusst, dass die Pflanzen im Wald Nahrung und Lebensraum für verschiedene Tiere bieten, aber den wenigsten ist bekannt, dass die Zerstörung von Wäldern zu einem erhöhten Auftreten von Umweltgefahren, wie z.B. Überschwemmungen oder Lawinen, führen kann. An dieser Station betrachten die Lernenden verschiedene Bilder und sollen in der Gruppe Annahmen über die Schutzfunktionen des Waldes treffen. Anschließend überprüfen sie ihre Vermutungen anhand der Informationen auf der Rückseite der Karten, die sie sich gegenseitig vorlesen. Mithilfe der Informationen können sie nun die Übersicht in ihrem Arbeitsheft vervollständigen, indem sie passende Bilder einkleben und Lücken ausfüllen. Um sicherzustellen, dass jede Karte sorgfältig gelesen wird, wurden fettgedruckte Buchstaben in den Texten versteckt, die die Kombination für das Schloss verschlüsseln. Wenn die fettgedruckten Buchstaben nacheinander gelesen werden, zeigen die Buchstaben auf drei der Karten ausgeschriebene Zahlen, z.B. „Sieben“.

Station 9: Verschmutzung im Wald. An der letzten Station werden die Lernenden mit dem Problem der Waldverschmutzung konfrontiert. Sie bewerten Verhaltensweisen im Wald hinsichtlich ihrer schädlichen Auswirkungen und schätzen die Zeitdauer zum Zerfall verschiedener Müllgegenstände ein, die häufig im Wald entsorgt werden. Letztere sind an der Station ausgestellt und die Lösungen befinden sich auf deren Rück- bzw. Unterseite. Um den Lernenden die zeitlichen Dimensionen deutlicher zu machen, werden die Zeitdauern zum Zerfall der Müllgegenstände in Relation zu historischen Ereignissen gesetzt.

Bonusmaterial: Rätsel und Ratespiel. Um zu verhindern, dass sich besonders schnell arbeitende Gruppen langweilen, wurden einige optionale Rätsel (z.B. Kreuzworträtsel und Suchrätsel) erstellt. In diesen können die Lernenden ihr erworbenes Wissen auf spielerische Weise testen. Die Rätsel befinden sich auf den letzten Seiten ihrer Arbeitshefte. Für diejenigen, die keine Rätsel lösen möchten, wurde ein Ratespiel (Anhang A.4) angeboten. Dabei zieht ein Gruppenmitglied eine Karte und beschreibt das Wort oben auf der Karte, ohne die drei darunter stehenden Wörter zu verwenden. Die anderen Gruppenmitglieder raten den waldbezogenen Begriff. Der oder die Erste, mit der richtigen Antwort, erhält die Karte. Am Ende gewinnt die Person mit den meisten Karten. Beim Spielen müssen die Lernenden ihr neu erworbenes Wissen auf eine unterhaltsame und wettbewerbsorientierte Weise anwenden, was ihnen dabei helfen soll, die zuvor gelernten Inhalte besser zu verinnerlichen.

Abschließende Reflexion. Am Ende der Lerneinheit wurde eine abschließende Reflexion im Klassenverband durchgeführt. Ein Sitzkreis erleichtert die Kommunikation und die Lehrkraft verwendet die letzte Folie der bereitgestellten Präsentation (Anhang A.1) zur Moderation. Die Lernenden sollten diese vier Reflexionsfragen beantworten:

- Welcher Inhalt war für dich besonders bedeutsam und warum?
- Gab es Inhalte, die völlig im Widerspruch zu dem standen, was du zu wissen glaubtest?
- Welcher Inhalt war für dich schwer verständlich? Was war der Grund? Wie hast du die Schwierigkeiten überwunden?
- Hast du noch unbeantwortete Fragen?

Das Reflektieren des eigenen Lernprozesses kann metakognitive Kompetenzen stärken, die für den Lernerfolg wichtig sind. Je objektiver die Lernenden sich selbst einschätzen können, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie in der Lage sind, zukünftige Lernprozesse zu planen, zu steuern und zu optimieren, indem sie überprüfen, wie gut sie die Inhalte verstanden haben (Hazlett et al., 2025; Isaacson & Fujita, 2006). Daher geht es bei der Auswertung nicht nur darum, aufzuzählen, was die Lernenden besonders interessiert hat oder was ihnen am meisten Spaß gemacht hat; stattdessen sollte eine Verbindung zwischen den sachlichen Inhalten und ihrem Herangehen an diese Inhalte hergestellt werden. Außerdem findet auf diese Weise eine Zusammenfassung statt und die Lernenden können von den Erfahrungen der anderen profitieren.

3.4.2.2 Das digitale Unterrichtsmodul – „Hilferuf aus der Zukunft“

Die Lerninhalte dieser Variante sind, wie bereits beschrieben, identisch zu denen des analogen EduBreakouts. Die digitale Version zeichnet sich jedoch durch einen noch spielerischeren Charakter aus. Die Lernenden werden hier zu den Hauptcharakteren einer abenteuerreichen Geschichte, die mit einer seltsamen Nachricht beginnt. Die Lehrkraft leitet in das Unterrichtsmodul ein, indem sie verschlossene Umschläge an die Klasse austeilte und die Präsentation (Anhang B.1) startet, die ein Bild eines Waldweges zeigt. Sie liest anschließend den Einleitungstext vor, der den Rahmen der Geschichte absteckt:

„Bei einem gemütlichen Spaziergang mit deinen Freunden in einem nahegelegenen Wald entdeckst du eine seltsame Nachricht. Du hebst sie auf und betrachtest sie näher. Darauf steht: „Rettet uns!!!“. „Ihre Verfasser waren scheinbar sehr verzweifelt.“, murmelst du leise vor dich hin und liest weiter. Dem Text nach soll diese Nachricht aus der Zukunft kommen. Du rufst die anderen herbei.

3 Synopsis

Diese Nachricht klingt für euch sehr nach Science-Fiction oder nach einem schlechten Scherz. Ihr zweifelt stark an der Echtheit der Nachricht – aber was wäre, wenn sie doch echt ist? Die Neugier hat euch gepackt und ihr beschließt der Sache auf den Grund zu gehen...“

Die Lernenden dürfen nun die auf ihren Tischen bereitliegenden Umschläge öffnen und die enthaltene laminierte Hilferufkarte (Abbildung ; Anhang B.2) und den Permanentmarker entnehmen. Ab jetzt fungiert die Lehrkraft, wie in der analogen Variante, nur noch unterstützend, da den Lernenden nun alle Materialien vorliegen, die sie benötigen, um das erste Rätsel zu lösen. Der Satz „Hoffentlich findet ein kluger Kopf diese Nachricht **gerade** noch rechtzeitig...“ auf der Kartenrückseite liefert den entscheidenden Lösungshinweis. Haben die Lernenden alle Felder mit geraden Zahlen im QR-Code geschwärzt, kann dieser mit dem Smartphone oder Tablet gescannt werden, wodurch sie auf die Startseite des digitalen EduBreakouts gelangen. Diejenigen, die den Lösungshinweis nicht verstehen, können den kleinen QR-Code in der Ecke scannen und bekommen so die Lösung „gerade Zahlen ausmalen“ auf ihrem digitalen Endgerät angezeigt.



Abbildung 7: Startkarte mit dem ersten Rätsel für das digitale Unterrichtsmodul „Hilferuf aus der Zukunft“. Durch Ausmalen der Felder mit geraden Zahlen erhalten die Lernenden einen funktionsfähigen QR-Code, der sie auf die Startwebsite des EduBreakouts leitet. Der kleine QR-Code in der unteren rechten Ecke offenbart den Lernenden die Lösung des Rätsels, falls sie diese nicht selbst finden konnten.

Alle Lernenden können nun selbstständig auf ihrem Smartphone oder Tablet arbeiten und werden über verschiedene Websites durch die Geschichte geführt. Sie erfahren, dass es schlecht um die Zukunft im Jahr 2083 steht, da in diesem Szenario auch der letzte Baum gefällt wurde. Der mysteriöse Verfasser des Hilferufs schickt sie daraufhin auf eine Reihe von Missionen mit dem Ziel, die gesammelten geheimen Informationen des korrupten Wissenschaftsjournalisten

3 Synopsis

R. Odung zu veröffentlichen und so das Schicksal der Erde zum Guten zu wenden. Die Geschichte umfasst 18 Kapitel, deren ausführliche Beschreibung über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen würde. Beispielhafte Screenshots und der Link zur Startseite können im Anhang B.4 eingesehen werden.

Den Lernenden stand es bei diesem Unterrichtsmodul frei, ob sie dieses in Einzelarbeit oder zusammen mit einem Partner bearbeiten. Diese Freiheit konnte beim analogen Modul aufgrund des hohen Materialaufwands nicht gewährleistet werden. Die Grundkonstruktion des Edu-Breakouts erfolgte mittels Google-Forms. Jeder Abschnitt wurde am Ende mit einem Pflichtantwortfeld versehen, das ein Fortschreiten nur dann zulässt, wenn die korrekte Antwort (Code) eingetragen wird. Die Aufgaben wurden in die Geschichte eingebunden und auf externen Google-Sites in Form von Lernspielen (z. B. Zuordnungsaufgaben, Rätsel, Galgenmännchen, Schätzspiele, etc.; siehe z.B. Abbildung) dargeboten.

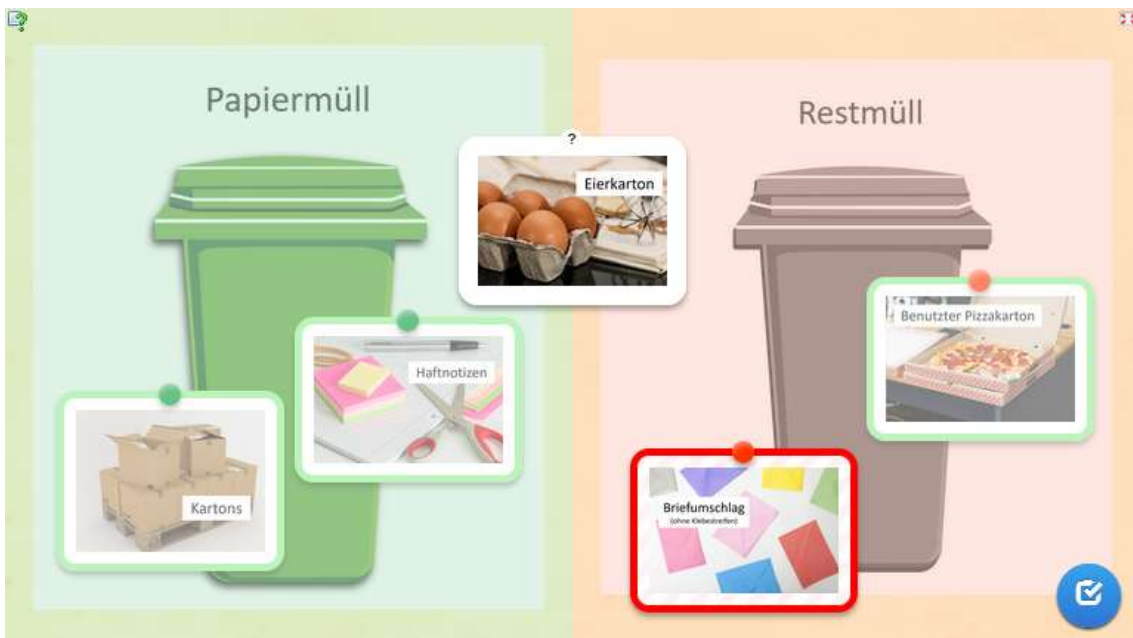


Abbildung 8: Screenshot einer H5P-Anwendung zur Zuordnung von Abfallgegenständen in die korrekte Mülltonne. Nach Betätigung des blauen Häkchensymbols erfolgt eine automatische Auswertung durch die Lernanwendung: korrekt zugeordnete Objekte werden grün, fehlerhafte Zuordnungen rot umrahmt.

Um in der Geschichte voranzukommen, mussten auch bei diesem Unterrichtsmodul mehrere Aufgaben korrekt gelöst werden, um Codes zum Öffnen von Türen oder Objekten freizuschalten. Abhängig von der abschließenden Entscheidung der Lernenden liefert die Geschichte unterschiedliche Endszenarien, die ihnen die Konsequenzen ihrer Entscheidung als Epilog aufzeigen.

Besonders schnelle Lernende hatten auch in dieser Variante die Möglichkeit, weitere digitale Rätsel zu lösen oder Spiele zu absolvieren, bei denen sie ihr neu erworbenes Wissen wiederho-

len und vertiefen konnten. Die abschließende Reflexion im Plenum erfolgte identisch zur analogen Variante. Praktische Aufgaben, wie Experimente, waren auf diese Weise jedoch nicht möglich. Die Ergebnisse des eigentlichen Experiments wurden daher auf einer interaktiven Pinnwand in Kombination mit einigen H5P-Anwendungen präsentiert. Der Schwerpunkt lag in der digitalen Variante somit stärker auf der Auswertung und nicht auf der Durchführung und Protokollierung des Experiments, anders als in der analogen Version. Ein weiterer grundlegender Unterschied ist, dass in der digitalen Variante, im Gegensatz zur Analogen, keine handschriftlichen Aufgaben und Sicherungen stattfanden. Eine ausführliche Begründung der methodischen Differenzierung in den beiden Unterrichtsmodulen wird im folgenden Unterkapitel anhand des SAMR-Modells geschildert.

3.4.2.3 Begründung der methodischen Differenzierung anhand des SAMR-Modells

Das SAMR-Modell von Dr. Ruben Puentedura (2006) wurde für die Erstellung des digitalen Moduls herangezogen, da es eine hilfreiche Struktur liefert, um den Einsatz von Technologie im Unterricht zu analysieren und zu bewerten. Es unterscheidet vier Stufen: *Substitution* (Ersetzung), *Augmentation* (Erweiterung), *Modification* (Änderung) und *Redefinition* (Neubelegung, siehe Abbildung 7). Diese Stufen werden im Folgenden genutzt, um die Unterschiede zwischen dem analogen und digitalen Unterrichtsmodul in Bezug auf ihre methodische Umsetzung zu verdeutlichen, auch wenn beide fachinhaltlich identisch sind.

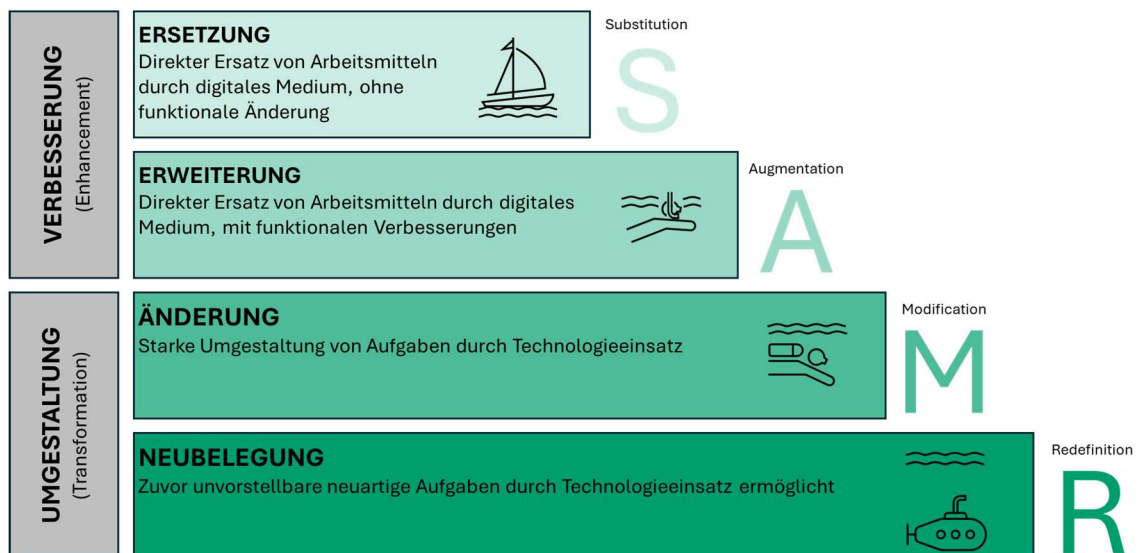


Abbildung 7: Das SAMR-Modell des digitalen Medieneinsatzes nach Puentedura (2006) veranschaulicht die vier Stufen der Technologieintegration im Unterricht. Die Piktogramme symbolisieren die unterschiedlichen Ebenen der Veränderung, von einfacher Substitution bis hin zur umfassenden Neugestaltung des Lernprozesses, und verdeutlichen die zunehmende Tiefe und Komplexität der pädagogischen Anwendung digitaler Medien. (Abbildung verändert nach Adrian Wilke, o. D., <https://adrianwilke.de/web/samr/> [CC BY-NC-SA 4.0] und Sylvia Duckworth, o. D., <https://sylvia duckworth.shop/product/samr/>)

1. Substitution (Ersetzung)

Wie auch in der analogen Variante, kam auch die digitale nicht umhin einige Informationstexte zu verwenden. Diese blieben identisch, während sich lediglich die Repräsentation ändert. Der einzige Mehrwert, der sich aus dieser Form der Textpräsentation ergeben, ist die Möglichkeit der Lernenden den Text für die bessere Leserlichkeit zu vergrößern und den Umgang mit den digitalen Medien üben können. Ferner ist es ihnen möglich, unbekannte Worte online nachzuschlagen, wodurch ein besseres Textverständnis erreicht werden kann. Letzterer Aspekt bietet bereits den Übergang zur nächsten Stufe des SAMR-Modells.

2. Augmentation (Erweiterung)

Das digitale Modul erweitert die Möglichkeiten der Lernenden, indem es die Interaktivität und Anschaulichkeit verbessert. Über Links und QR-Codes gelangen die Lernenden schnell zu neuen Informationen und Aufgaben. Da Druckkosten und Umweltüberlegungen (Materialien und Papier) in der digitalen Version keine Rolle spielen, war es möglich bei der Konzeption einen erhöhten Anschaulichkeitsgrad durch Abbildungen zu erreichen. Ferner haben die Lernenden die Möglichkeit sich die Geschichtentexte auf den Websites anzuhören (generiert mit *Vidnoz-AI Text-to-Speech*, lizenzfrei), statt diese zu lesen. Dadurch konnten die Lernenden entlastet und der größere Textumfang ausgeglichen werden. Diese Verbesserungen kommen vor allem den auditiven und visuellen Lerntypen entgegen und tragen somit zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lernpräferenzen innerhalb heterogener Lerngruppen bei.

3. Modification (Änderung)

Auf dieser Stufe wird die Struktur des Unterrichts durch Technologie verändert. Im digitalen Modul „Hilferuf aus der Zukunft“ werden die Lernenden in eine narrative Struktur eingebunden, die eine stärkere Immersion ermöglicht. Die Geschichte, in der sie selbst als Charaktere agieren, verändert die Art und Weise, wie die Informationen präsentiert und verarbeitet werden. Interaktive Pinnwände, erstellt auf der Plattform *thinglink.com*, ermöglichen das Erkunden digitaler Räume und das Entdecken darin versteckter Informationen und Rätsel.

4. Redefinition (Neubelegung)

In dieser höchsten Stufe werden durch die Technologie Möglichkeiten eröffnet, die analog nicht umsetzbar wären. Im digitalen Modul konnte dies durch die Einbindung von Echtzeit-Feedback und Hilfestellungen in verschiedensten H5P-Anwendungen und digitalen Räumen erfolgen, die den Lernenden immersive Lernumgebungen bieten. Diese Neudefinition der Lernaufgaben führt dazu, dass die Lernenden die Inhalte in einem völlig neuen Kontext erleben können, was in der analogen Version nicht in gleicher Weise möglich ist.

Fazit

Obwohl die Unterrichtsmodule „Rettet den Wald!“ (analog) und „Hilferuf aus der Zukunft“ (digital) fachinhaltlich identisch sind, unterscheiden sie sich in ihrer methodischen Umsetzung. Das SAMR-Modell hilft zu verdeutlichen, dass die digitale Version durch technologische Erweiterungen und Anpassungen nicht nur eine Substitution, sondern auch eine Augmentation, Modifikation und teilweise sogar eine Neugestaltung der Lernaufgaben ermöglicht. Diese methodischen Unterschiede führen zu unterschiedlichen Lernerfahrungen, die auf die Stärken der jeweiligen Unterrichtsformen abzielen. Die analoge Version fördert eigenständiges Lernen in einer strukturierten, physischen Umgebung, während die digitale Version interaktive, immersive und narrative Elemente integriert, um das Eintauchen in den Lernprozess zu vertiefen.

3.4.3 Erhebungsinstrumente

Die in den Teilarbeiten eingesetzten Instrumente wurden zusammen in ausführlichen Fragebögen erfasst. Einige Forschungsfragen erforderten eine wiederholte Erhebung der Messinstrumente zu mehreren Testzeitpunkten. Tabelle 2 bietet eine Übersicht und fasst zentrale Eckdaten wie Itemanzahl und Autoren bzw. Autorinnen der Erhebungsinstrumente zusammen. Die vollständigen Erhebungsinstrumente sowie die zugehörigen Items sind im Anhang (C.-H.) einsehbar.

Tabelle 2: Zusammenfassung der verwendeten Erhebungsinstrumente, deren Abkürzung, Autoren/Autorinnen, Itemanzahl und ein Verweis auf den Erhebungszeitpunkt.

Messinstrument	Abkürzung	Autoren/Autorinnen	Itemanzahl	Erhoben in
<i>Umweltwissen</i>	W	Fleissner-Martin et al., 2023	25	T1, T2, T3
<i>(Shortened) Cognitive Processes Associated with Creativity</i>	CPAC	Conradty & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b	12	T1
<i>Attitude toward Nature</i>	AN	Baierl et al., 2024 (Items aus Brügger et al., 2011 und Bogner & Wiseman, 2004)	45	T1, T3
<i>Environmental Attitude</i>	EA	Baierl et al., 2022	30	T1, T3
<i>Inclusion of Nature in Self</i>	INS	Schultz, 2002	1	T1, T3

Zur Erfassung des Umweltwissens der Lernenden wurde ein Multiple-Choice-Fragebogen entwickelt, der auf die Unterrichtsmodule abgestimmt ist. Jede Frage bot vier Antwortmöglichkeiten, darunter eine korrekte Antwort und drei Distraktoren. Für die Berechnungen wurden korrekte Antworten als „1“ und inkorrekte Antworten als „0“ kodiert.

3 Synopsis

Die Kreativität der Teilnehmenden wurde mithilfe der gekürzten Version des CPAC (Conradty & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b) erfasst. Die Schülerinnen und Schüler bewerteten zwölf Items auf einer vierstufigen Likert-artigen Skala, die von „nie“ (0) über „manchmal“ (1) und „oft“ (2) bis „sehr oft“ (4) reichten.

Es wurden drei etablierte Skalen zur Erhebung umweltbezogener Einstellungen eingesetzt (AN, EA und INS). Zur Erfassung der AN wurden 45 Items verwendet, die sich auf die Haltung gegenüber der Natur und die Nutzung natürlicher Umgebungen zur Erholung und Freizeit beziehen. Diese Items stammen von Baierl et al. (2024), die zwei etablierte Messinstrumente (Bogner & Wiseman, 2004; Brügger et al., 2011) zu einem flexiblen Itempool für die Bewertung der Einstellung zur Natur bei Jugendlichen zusammengeführt haben. Einige Items wurden modifiziert, um eine breitere Anwendbarkeit zu gewährleisten; beispielsweise wurde „Als Kind verbrachte ich Zeit im Wald.“ in „Als Kind verbrachte ich Zeit im Freien.“ geändert. Alle polytomen Items wurden auf einer fünfstufigen Skala beantwortet, die entweder die Frequenz („nie“ [1] bis „immer“ [5]) oder die Zustimmung („trifft gar nicht zu“ [1] bis „trifft völlig zu“ [5]) erfasst. Dichotome Items erforderten eine einfache „Ja“- (1) oder „Nein“- (0) Antwort, wobei „nicht sicher“ als 0 kodiert wurde. Die vier negativ formulierten Items wurden für die Analyse umgekehrt kodiert. Um potenzielle Messfehler abzuschwächen, wurden polytome Items in ein dichotomes Format umgewandelt, wobei Antworten, die auf eine geringere Beschäftigung mit der Natur hinweisen (z. B. „nie“, „selten“, „manchmal“, „trifft gar nicht zu“, „trifft eher nicht zu“, „nicht sicher / weder noch“) mit „0“ und eine stärkere Beschäftigung (z. B. „oft“, „immer“, „trifft eher zu“, „trifft völlig zu“) mit „1“ kodiert wurden.

Für die Messung der EA, d.h. der Neigung zum Umweltschutz, wurden 30 Items eingesetzt, die ursprünglich aus zwei etablierten Messinstrumenten für Umwelteinstellungen abgeleitet wurden. Diese Items wurden bereits von Baierl et al. (2022) in ihrer aktuellen Form validiert. Die Teilnehmenden beantworteten die Items mithilfe zweier Antwortskalen: einer fünfstufigen Frequenzskala („nie“ [1] bis „immer“ [5]) und einer fünfstufigen Zustimmungsskala („trifft gar nicht zu“ [1] bis „trifft völlig zu“ [5]). Von den 30 Items waren 13 negativ formuliert und signalisierten eine geringe Neigung zum Umweltschutz; diese wurden vor der Analyse umgekehrt kodiert. Für die Anwendung eines Rasch-Modells für binäre Items über alle Erhebungszeiträume hinweg und zur Bewertung der Skalenintegrität mussten auch hier alle Items in ein dichotomes Format, analog zu AN, überführt werden.

Abschließend kam INS von Schultz (2002) zum Einsatz, ein nur aus einem Item bestehendes Instrument zur Messung der wahrgenommenen Verbundenheit mit der Natur. Dieses Messinstrument besteht aus sieben Paaren von sich annähernden Kreisen, die das „Selbst“ und die „Natur“ repräsentieren. Die Skala bewertet die Intensität der gefühlten Verbindung zur Natur basierend

auf der Nähe und dem Grad der Überlappung zwischen diesen Kreisen. Eine größere Überlappung oder eine nähere Annäherung der Kreise wird als Indikator für eine stärkere wahrgenommene Verbundenheit mit der Natur interpretiert.

3.4.4 Datenauswertung: Statistische Analysen

Zur Durchführung der quantitativen Analysen kamen verschiedene Softwarepakete zum Einsatz: Das *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS, Version 29.0.2.0: IBM Corp., 2023) wurde für die grundlegende statistische Auswertung genutzt. Ergänzend wurde die Software *Amos* (Version 26.0: Arbuckle, 2019) eingesetzt, um Strukturgleichungsmodelle zu erstellen und zu analysieren. Für die Rasch-Kalibrierung der Daten wurde die Software *ACER ConQuest* (Adams & Khoo, 2015) verwendet. Die Visualisierung der Daten erfolgte sowohl mit Microsoft Excel 2016 als auch in den oben genannten Programmen SPSS und Amos.

Da sich **Teilstudie A** mit der Konzeption der Unterrichtsmodule befasst, fanden hierfür keine umfangreichen statistischen Analysen statt.

In **Teilstudie B** wurde zur Analyse der Wissensskala ein Rasch-Modell für dichotome Items über alle Testzeitpunkte hinweg mit dem Programm *ACER ConQuest* angewendet. Zunächst wurden die Antworten des Wissensfragebogens als „1“ für richtig und „0“ für falsch kodiert, um eine klare Grundlage für die Analyse zu schaffen. Durch die Rasch-Kalibrierung wurde eine Hierarchie der Items in Bezug auf ihre Schwierigkeit sowie eine Schätzung der Fähigkeiten der Lernenden, hier als Maß für deren Wissen, ermittelt. Beide Parameter wurden auf einen Mittelwert von 0 kalibriert, wobei positive Werte auf eine höhere Itemschwierigkeit bzw. höheres Wissen der Lernenden hinweisen, während negative Werte das Gegenteil bedeuten. Insgesamt wurden 299 vollständige Datensätze (η : 58,9 %; σ : 39,8 %; $M_{Alter} \pm SD = 13,79 \pm 0,87$) aus den Erhebungszeitpunkten T1, T2 und T3 in die Analysen einbezogen, um Unterschiede im erworbenen Wissen bei den verwendeten digitalen ($n = 225$) bzw. analogen ($n = 74$) Lernmaterialien zu untersuchen. Für die weiteren Berechnungen wurden die durch das Maximum-Likelihood-Verfahren geschätzten individuellen Fähigkeitsschätzungen aus der Rasch-Kalibrierung verwendet. Zur Analyse der Wissensentwicklung über die Zeit wurde eine 3x2 faktoriell angelegte Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Die Fähigkeitsschätzungen („Wissen“) wurden als Messwiederholungsfaktor und der Interventionstyp (digital/analog) als Gruppenfaktor mit drei Stufen (T1, T2 und T3) in die Analyse einbezogen. Abschließend wurden *Welch*-Tests durchgeführt, um die Differenzen der Wissenszuwächse zwischen den Testzeitpunkten T2-T1 und T3-T2 für die beiden Gruppen (digital/analog) zu vergleichen und Unterschiede in den Wissensentwicklungen zu evaluieren.

3 Synopsis

In **Teilstudie C** wurde das etablierte Konstrukt der Kreativität gemessen durch die gekürzte CPAC-Skala (Conradty & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b), einer faktoranalytischen Qualitätsanalyse unterzogen und der Zusammenhang zwischen Kreativität und Lernerfolg in den beiden Unterrichtsmodulen untersucht. Die Analysen basierten auf 393 Datensätzen ($n_{digital} = 300$; $n_{analog} = 93$; ♀: 57,5 %; ♂: 40,5 %; $M_{Alter} \pm SD = 13,85 \pm 0,97$), die zu den Erhebungszeitpunkten T1, T2 und T3 erhoben wurden. Auf Grundlage der in der Literatur beschriebenen kognitiven Faktoren der Kreativitätsskala wurde eine konfirmatorische Faktorenanalyse mit SPSS durchgeführt, um die strukturelle Validität des Modells und die Eignung der Items für die vorliegende Studienkohorte zu überprüfen. Anschließend wurde ein Strukturgleichungsmodell mit AMOS konstruiert, um die Beziehungen zwischen den Faktoren darzustellen. Danach wurden *t*-Tests durchgeführt, um die Ausprägung der kognitiven Faktoren *Act* und *Flow* im Hinblick auf Geschlechterunterschiede zu analysieren. Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Ausprägungen von *Act* und *Flow* sowie den Lernergebnissen der Teilnehmenden wurden Korrelationsanalysen angewendet. Zudem wurden die Korrelationen zwischen den beiden Interventionsgruppen (digital und analog) auf mögliche Unterschiede untersucht, indem Korrelationsanalysen der kognitiven Faktoren *Act* und *Flow* mit den Wissenszuwächsen zwischen Prä- und Retentionstests (T3-T1) durchgeführt wurden. Vor diesen Berechnungen wurde ein *t*-Test unter Anwendung des Bootstrapping-Verfahrens mit 1000 Wiederholungen und bias-korrigierten und beschleunigten (BCa) 95%-Konfidenzintervallen durchgeführt, um die Vergleichbarkeit der Vorwissenssummenwerte der beiden Teilstichproben (digital und analog) zu validieren.

In **Teilstudie D** wurden die Zusammenhänge zwischen Umweltwissen (aus Teilstudie B) und den Umwelteinstellungen (EA, AN und INS) untersucht. Hierzu wurden insgesamt 393 Datensätze (♀: 57,5 %; ♂: 40,5 %; $M_{Alter} \pm SD = 13,85 \pm 0,97$) aus den Erhebungszeitpunkten T1, T2 und T3 in die Analyse einbezogen. Um die Eignung der Messinstrumente für die gewählte Studienkohorte sicherzustellen, wurden diese hinsichtlich ihrer Reliabilität, Itemtrennschärfe und Fit-Werte überprüft. Wie in Abschnitt 3.4.3 beschrieben, wurden die Items zunächst in dichotome Formate umgewandelt und anschließend mit *ACER ConQuest* Rasch-kalibriert. Die Skalen zeigten eine gute Trennschärfe und akzeptable Fit-Werte, wodurch die Grundlage für weiterführende Analysen geschaffen wurde. Alle weiteren Analysen wurden mit SPSS durchgeführt. Um die Zusammenhänge zwischen den drei gemessenen Umwelteinstellungen sowie deren Beziehung zum Umweltwissen zu untersuchen, wurden Korrelationsanalysen über die drei Testzeitpunkte hinweg durchgeführt. Im nächsten Schritt wurde eine Regressionsanalyse angewendet, um die Effekte von EA und AN auf den Wissenserwerb der Lernenden zu untersuchen. Der Schwerpunkt dieser Teilstudie lag insbesondere auf AN, weshalb auch ihr Einfluss auf den langfristigen Wissenszuwachs (Differenz T3-T1) analysiert wurde. Aufgrund des positiven Effekts von AN und EA

auf den Wissensstand bzw. -zuwachs und des angedeuteten Vermittlungseffekts von EA (vgl. Baierl et al., 2024) wurde ein Mediationstest in Anlehnung an Baron and Kenny (1986) durchgeführt, um die Rolle der Einstellungen im Lernprozess besser zu verstehen. Zunächst wurde der direkte Effekt von AN auf den Wissenszuwachs untersucht, gefolgt von einer Analyse der Einflüsse von AN auf EA sowie von EA auf den langfristigen Wissenszuwachs (T3-T1). Durch das Hinzufügen von EA als Mediator konnte der indirekte Effekt von AN auf den Wissenszuwachs überprüft werden. Abschließend wurde der Einfluss der Unterrichtsmodule auf die Umwelteinstellungen mithilfe eines t-Tests untersucht.

3.5 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse und Diskussionen der vier Teilstudien zusammengefasst. Teilstudie A konzentriert sich auf die Entwicklung und Durchführung einer Unterrichtseinheit. Die übrigen drei Teilstudien verfahren hingegen nach einem quantitativen, nomothetischen Forschungsansatz.

3.5.1 Teilstudie A: Konzeption zweier Unterrichtsmodule zur Umweltbildung im Kontext des Ökosystems *Wald*

In diesem Abschnitt werden die Erfahrungen und Beobachtungen der Autorin ($n_{analog} = 53$; $n_{digital} = 45$), sowie die Rückmeldungen der beteiligten acht Lehrkräfte ($n_{analog} = 5$; $n_{digital} = 3$) als auch die der Lernenden ($n_{analog} = 169$; $n_{digital} = 444$) zu den durchgeführten Unterrichtseinheiten detailliert dargestellt. Dabei wird auf die Erfahrungen mit den digitalen und analogen Modulen eingegangen, um ein umfassendes Bild der Akzeptanz, der Herausforderungen und der Potenziale der entwickelten Konzepte zu zeichnen. Im Folgenden werden sowohl die positiven Aspekte, die in den Rückmeldungen hervorgehoben wurden, als auch kritische Anmerkungen, um daraus Verbesserungsvorschläge für zukünftige Konzeptionen abzuleiten, einbezogen.

Eigene Beobachtungen

Analoges Modul: Die spielerischen Elemente, wie verschlossene Kisten, weckten offenbar das Interesse und die Neugier der Lernenden. Manche versuchten, die Schlösser auf unkonventionelle Weise zu öffnen, scheiterten jedoch und mussten sich den Aufgaben stellen. Die Freude und das Engagement, die bei der Lösung der Aufgaben und dem Öffnen der Schlösser beobachtet wurden, unterstreichen das Potential solcher gamifizierten Lernmethoden. Einige Lernende jubelten und klatschten sich gegenseitig ab, wenn sie erfolgreich ein Schloss öffnen konnten. Die Lernenden arbeiteten eigenständig in Gruppen und bewältigten die Aufgaben erfolgreich, was unter anderem daran liegen kann, dass sie gut mit den Anforderungen eines Stationenlernens

3 Synopsis

vertraut waren. Dies zeigt erneut, dass selbstständig und in Kleingruppen durchgeführtes Lernen sehr effektiv sein kann, wenn Lernumgebungen entsprechend gestaltet sind. Unterstützung war nur selten erforderlich, was für die Selbstständigkeit der Lernenden und ein angemessenes Anforderungsniveau der Aufgaben spricht. Eine kleinere Herausforderung stellte das Ausfüllen des Fragebogens zum ökologischen Fußabdruck dar, bei dem gelegentliche Unterstützung zur Einschätzung von Wohnflächen oder Kraftstoffverbrauch benötigt wurde. Hier könnte eine Anpassung des Fragebogens auf das Niveau der Lernenden hilfreich sein, was jedoch zulasten der Vergleichbarkeit der Ergebnisse geht.

Digitales Modul: Die Durchführung des digitalen Unterrichtsmoduls verlief insgesamt reibungslos, was darauf hindeutet, dass die Lernenden als *Digital Natives* bereits routiniert im Umgang mit digitalen Medien sind und folglich keine Schwierigkeiten bei der Bedienung der Anwendungen und Websites hatten. Diese Beobachtung hebt das Potential der Integration digitaler Tools im Unterricht hervor, da so die vorhandenen Fähigkeiten der Lernenden genutzt werden können. Besonders positiv war, dass die Rahmentexte der Geschichtenkapitel von einigen Lernenden nicht nur gelesen, sondern auch kreativ umgesetzt wurden, indem sie die Rollenverteilung spielerisch gestalteten. Dies führte zu einer entspannten und motivierenden Lernatmosphäre, die den Unterricht auflockerte und das Engagement förderte. Die H5P-Anwendungen wurden aufgrund ihrer vielfältigen interaktiven Lernmöglichkeiten besonders positiv aufgenommen. Dies zeigt, dass spielerische und interaktive Elemente das Lernverhalten durchaus positiv beeinflussen können, indem Lernende durch eigene Anstrengung ein tiefes Verständnis der Inhalte erlangen und Selbstwirksamkeit erfahren. Die entstandene Wettbewerbsstimmung der Gruppen trug zusätzlich zur Motivation bei und führte dazu, dass die Lernenden mit großer Begeisterung und mit Eifer an den Aufgaben arbeiteten. Jedoch traten zum Teil technische Schwierigkeiten auf, insbesondere in Bezug auf das Schul-WLAN und die fehlenden Zwischenspeicherpunkte, die den Fortschritt der Lernenden etwas ausbremsten und den Arbeitsfluss störten. Diese technischen Herausforderungen führten gelegentlich zu Frustration, die durch die Notwendigkeit, Codes erneut einzugeben, verstärkt wurde. Der Fortschritt in einem Google-Forms-Formular kann nur gespeichert werden, wenn eine Anmeldung mit einem Google-Konto erfolgt, was aus Datenschutzgründen jedoch untersagt war. Für zukünftige Durchführungen wäre es daher sinnvoll, technische Verbesserungen vorzunehmen, um eine reibungslosere Nutzung der digitalen Plattformen zu gewährleisten. Ein möglicher Ansatz wäre die Einführung von QR-Codes, die den Lernenden, nach Rücksprache mit der Lehrkraft, einen einfacheren Zugang zu den Kapiteln ermöglichen, bei denen sie zuletzt stehen geblieben sind.

Rückmeldungen der beteiligten Lehrkräfte

Nach der Durchführung der Unterrichtsmodule wurde den teilnehmenden Lehrkräften die Möglichkeit gegeben, ihre Erfahrungen und Eindrücke mitzuteilen. Diese Rückmeldungen liefern wertvolle Einblicke in die praktische Umsetzung und Akzeptanz der entwickelten Konzepte sowohl in digitaler als auch in analoger Form.

Analoges Modul: Das analoge Modul wurde von den Lehrkräften positiv bewertet, insbesondere hinsichtlich der Aktivierung der Lernenden und der abwechslungsreichen Gestaltung der Aufgaben. Interessanterweise war der Zeitbedarf der Klassen unabhängig von deren Leistungsstärke, was darauf hindeutet, dass die bereitgestellten Hilfestellungen gut auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Lernenden abgestimmt waren. Die Lehrkräfte beobachteten, dass die Lernenden während der Bearbeitung des Moduls engagierter waren als im regulären Unterricht, insbesondere in Klassen, die sonst als unmotiviert galten. Diese Beobachtung unterstreicht die Wirksamkeit der spielerischen und interaktiven Elemente, die dazu beitragen können, auch weniger interessierte Lernende zu aktivieren. Das Arbeitsheft und das eingebundene Experiment wurden von den Lehrkräften besonders positiv hervorgehoben, ebenso wie die abwechslungsreichen Aufgabenformate, die das Interesse der Lernenden aufrechterhielten. Die Lehrkräfte beobachteten außerdem, dass die Lernenden bei den Stationen 1, 2, 3, 6 und 9 häufig besonders interessiert wirkten, während die Stationen 5 und 7 aufgrund ihrer textbasierten Aufgabenstellungen weniger beliebt waren. Dieser Befund entspricht den Erwartungen. Nichtsdestotrotz sollten sich die Lernenden auch in solchen Aufgaben üben, da sie im Alltag und spätestens im Studium mit informationshaltigen Texten konfrontiert werden, die sie verstehen und interpretieren können müssen. Die wenigen kritischen Rückmeldungen bezogen sich auf disziplinarische Aspekte, wie das Verstellen der Codes geöffneter Zahlenschlösser. Da dies nur bei einer Lehrkraft vorkam, scheint es sich um ein individuell disziplinäres und nicht um ein konzeptionelles Problem zu handeln. Konkrete Verbesserungsvorschläge seitens der Lehrkräfte gab es nicht, was auf eine insgesamt hohe Zufriedenheit mit dem Modul schließen lässt.

Digitales Modul: Die Rückmeldungen waren auch überwiegend positiv, obwohl technische Schwierigkeiten die Durchführung mitunter erschwerten. Die Lehrkräfte berichteten, dass die Lernenden motivierter und engagierter wirkten als im regulären Unterricht. Dies zeigt, dass digitale Lehrmethoden nicht nur eine willkommene Abwechslung darstellen, sondern auch das Potenzial haben, das Lernverhalten positiv zu beeinflussen. Interessanterweise benötigten die Lernenden nur selten Unterstützung durch die Lehrkräfte, selbst in Klassen, die als leistungsschwach beschrieben wurden. Dies deutet darauf hin, dass das Modul durch die bereitgestellten Hilfestellungen eine geeignete Differenzierung für die Lernenden bot und diese folglich in der Lage waren, die Aufgaben weitgehend eigenständig zu lösen. Einzig das Kapitel 7, das sich auf

die Papierherstellung und das Recycling konzentrierte und auf der Auswertung diverser Diagramme basierte, stellte eine größere Herausforderung dar. Dies ist möglicherweise auf die Komplexität der Inhalte zurückzuführen. Ein wiederholt geäußerter Wunsch der Lehrkräfte betraf die Verbesserung der technischen Umsetzung, insbesondere die Möglichkeit, Zwischenspeicherpunkte einzurichten, um den Fortschritt der Lernenden auch bei technischen Problemen zu sichern oder einen Wiedereinstieg zu erleichtern. Dieses deckt sich mit den Beobachtungen der Autorin und sollte bei zukünftigen Konzeptionen berücksichtigt werden.

Rückmeldungen der Lernenden

Nach Abschluss der Unterrichtseinheiten hatten die Lernenden die Gelegenheit, am Ende des Wissensfragebogens (T2) in einem Freitext-Feedback ihre Meinungen und Eindrücke zu teilen. Die erhaltenen Rückmeldungen bieten einen wertvollen Einblick in ihre Erfahrungen und spiegeln sowohl die positiven Aspekte als auch die Herausforderungen wider.

Analoges Modul: Die Rückmeldungen der Lernenden zum analogen Modul waren überwiegend positiv. Besonders geschätzt wurden die abwechslungsreichen und kreativ gestalteten Aufgaben, die das Lernen interessanter und motivierender machten. Ein Schüler hob hervor: *„Die analogen Stationen haben Spaß gemacht. Es war interessant, aber nicht langweilig. Definitiv interessanter, als ein langer Film über das Thema und es war sehr abwechslungsreich.“* Die Möglichkeit, in Gruppen zu arbeiten und dabei eigenständig zu lernen, wurde ebenfalls positiv aufgenommen, wie diesem Schülerfeedback entnommen werden kann: *„Es hat sehr viel Spaß gemacht, vor allem die Gruppenarbeiten und dazu hat man noch was gelernt und es war interessant.“* Ebenso empfanden die Lernenden die Stationen als gut strukturiert und übersichtlich gestaltet, was nach ihrer eigenen Einschätzung das Lernen erleichterte. Es gab jedoch auch kritische Stimmen, die sich auf den Umfang der Texte bezogen: *„Naja sehr viel Text irgendwie zu viel Text, naja“*. Textbezogene Aufgaben schienen als weniger motivierend und als herausfordernder empfunden, was den Erwartungen entspricht. Dennoch muss, wie bereits beschrieben der Umgang mit Informationstexten geübt werden und ist für eine 8. Jahrgangsstufe an Gymnasien durchaus angemessen. Bei der Gestaltung zukünftiger Lernmaterialien können jedoch diese Rückmeldungen berücksichtigt werden, um die Balance zwischen Information und Spaß am Lernen zu optimieren.

Digitales Modul: Auch das digitale Modul wurde von den Lernenden überwiegend positiv bewertet. Die Mehrheit empfand das Modul als spannend und lehrreich, und viele betonten, dass sie die spielerischen Elemente und die interaktive Gestaltung besonders schätzten. Ein Schüler äußerte sich begeistert: *„Ich fand das Projekt toll, das ist mal was anderes als der normale Unterricht. Es war spannend, das Thema Ökosystem Wald spielerisch zu lernen und es gab viele*

interessante Dinge zu entdecken.“ Es deutet darauf hin, dass die spielerische Vermittlung von Wissen nicht nur die Motivation der Lernenden steigert, sondern auch dazu beiträgt, dass Inhalte leichter und teilweise unbewusst aufgenommen werden. Dies wird durch die Aussage einer Schülerin unterstützt: *„Mir hat sehr gefallen, dass man durch kleine Spiele viel gelernt hat und man es manchmal überhaupt nicht gemerkt hat.“* Möglicherweise trug die Nutzung von Tablets oder Smartphones zur positiven Wahrnehmung dieser Schülerin bei – da Lernende die Geräte aus ihrer Freizeit kennen, assoziieren sie damit Spaß statt Anstrengung. Diese positive Wirkung auf das Lernverhalten unterstreicht die Bedeutung interaktiver Lernmethoden im Unterricht. Einige Lernende merkten jedoch an, dass sie Schwierigkeiten hatten, sich bestimmte Fachbegriffe zu merken, wie dieser Aussage einer Schülerin entnommen werden kann: *„Ja, leider habe ich mir die Fachbegriffe nicht allzu gut gemerkt. Aufgaben wie zum Beispiel das Galgenmännchen haben mir Spaß gemacht, wohingegen ich Lückentexte nicht so mochte... Alles in einem hat es aber Spaß gemacht und war eine neue Erfahrung.“* Um diese Selbsteinschätzung zu überprüfen, wurden die einzelnen Wissenssummenwerte der Probandin individuell betrachtet. Der Wissenstest deckt zwar nicht jeden einzelnen Lerninhalt ab, aber zeigt dennoch, dass die Schülerin etwas gelernt hat. Möglicherweise hält die Schülerin Spaß und Lernen für nicht vereinbar, woraus ihre Selbsteinschätzung resultiert. Diese Rückmeldung zeigt aber auch, dass es bei spielerischen Lernmethoden wichtig ist, eine Balance zwischen Spaß und ernsthaftem Lernen zu finden. Ferner beklagten sich einige der Lernende über technische Probleme, was zeigt, dass die technische Umsetzung ein entscheidender Faktor für den Erfolg digitaler Lernmodule ist. Instabile WLAN-Verbindungen und fehlende Endgeräte in Schulen sind jedoch keine Probleme, die Lehrkräfte selbst bewältigen können.

Insgesamt sahen Lernende beide Module – digital wie analog – nicht nur als willkommene Abwechslung zum herkömmlichen Unterricht, sondern auch als Weg zur Steigerung von Interesse und Motivation. Dies zeigt, dass innovative Lehrmethoden, die auf Interaktivität und spielerisches Lernen setzen, erfolgreich sein können, die Zufriedenheit der Lernenden zu erhöhen.

3.5.2 Teilstudie B: Vergleich des kurz- und langfristigen Wissenserwerbs durch das analoge und digitale Unterrichtsmodul

In dieser Studie wurden die kurz- und langfristigen Effekte eines analogen und eines digitalen Unterrichtsmoduls auf den Wissenserwerb der Lernenden untersucht. Zur Validierung des Messinstruments wurde eine Rasch-Kalibrierung über alle Testzeitpunkte durchgeführt, die solide Werte für die Wissensskala erzielte (Bond & Fox, 2001). Die Ergebnisse zeigten eine weitge-

3 Synopsis

hende Normalverteilung der Itemschwierigkeiten und eine hohe Trennschärfe mit einem Reliabilitätsindex von 0,72, was auf eine gute Fähigkeit hinweist, unterschiedliche Wissensstände der Lernenden zu differenzieren. Die Fit-Werte, die den Unterschied zwischen den vom Rasch-Modell vorhergesagten und den tatsächlichen Antworten widerspiegeln, lagen in einem akzeptablen Bereich, was die Eignung der Wissensskala weiter untermauert (Wright et al., 1994).

Die Analysen ergaben, dass in beiden Gruppen ein signifikanter Wissenszuwachs feststellbar war (Digital: $M_{T1}[SD] = 0,54 \pm 0,71$; $M_{T2}[SD] = 0,88 \pm 0,92$; $p < 0,001$; $d = 0,42$; Analog: $M_{T1}[SD] = 0,32 \pm 0,83$; $M_{T2}[SD] = 0,80 \pm 0,88$; $p < 0,001$; $d = 0,59$), der auch nach 6-9 Wochen nahezu konstant blieb (Digital: $M_{T3}[SD] = 0,79 \pm 1,00$; $p = 0,092$; Analog: $M_{T3}[SD] = 0,76 \pm 1,00$; $p = 0,619$). Die Wissensentwicklung entspricht früheren Studien mit vergleichbarem Design (z.B. Goldschmidt & Bogner, 2016; Schneiderhan-Opel & Bogner, 2020). Insgesamt profitierten die Lernenden langfristig von beiden Unterrichtsmodulen. Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede im Wissenszuwachs oder in der Wissensretention zwischen der digitalen und der analogen Gruppe festgestellt werden (T2-T1: $t(303) = 1,178$; $p = 0,240$; T3-T2: $t(303) = 0,346$; $p = 0,729$). Dies deutet darauf hin, dass beide Methoden gleichermaßen effektiv sind, obwohl sie unterschiedliche Lernumgebungen bieten. Angesichts der divergierenden Forschungslage, die entweder das analoge (z.B. Mottarella et al., 2004; Wang & Newlin, 2000) oder das digitale Lernen (z.B. Maki et al., 2000; Twigg, 2003) als überlegen erachtet, reiht sich diese Studie in eine wachsende Anzahl von Untersuchungen ein, die keine eindeutige Präferenz erkennen lassen (z.B. Botsch & Botsch, 2001; Fiedler et al., 2021).

Digitales und analoges Lernen sind vielschichtige Forschungsfelder, sodass Schlussfolgerungen allein auf Basis der vorliegenden Daten nicht ausreichen. Obwohl versucht wurde, die Komplexität dieses Themas zu reduzieren, konnten nicht alle Einflussfaktoren, wie z. B. schulische Unterschiede, vollständig kontrolliert werden. Zudem war die Stichprobengröße in der analogen Gruppe pandemiebedingt limitiert, was die Aussagekraft einschränkt. Dennoch deuten die Ergebnisse auf ein vergleichbares Potenzial beider Ansätze hin. Die Integration digitaler Module erweist sich als wertvolle Ergänzung zu traditionellen Unterrichtsformen. Eine Entscheidung zugunsten rein digitaler Lernmethoden erscheint möglich, ohne kognitive Lernrückstände im Vergleich zu analogen Methoden befürchten zu müssen. Dies ist besonders relevant angesichts der wachsenden Bedeutung von Medienkompetenz für zukünftige Berufsfelder. Gleichzeitig zeigt die Literatur, dass nicht eine einzelne Methode überlegen ist. Der Erfolg liegt vielmehr in einer ausgewogenen Kombination von Lehrmethoden und ihrem reflektierten Einsatz.

3.5.3 Teilstudie C: Der Einfluss von Kreativität auf den Lernerfolg in gamifizierten Unterrichtsmodulen

In dieser Teilstudie wurde der Einfluss von Kreativität auf den Lernerfolg in gamifizierten Unterrichtsmodulen untersucht. Insbesondere wurde der Zusammenhang zwischen den kognitiven Faktoren „Act“ und „Flow“ sowie den erzielten Wissenszuwächsen der Lernenden betrachtet. Zur Messung der Kreativität wurde der verkürzte CPAC-Fragebogen (*Cognitive Processes Associated with Creativity*; Conradt & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b) eingesetzt, dessen Zuverlässigkeit und Validität für die Altersgruppe der Achtklässler eingehend geprüft und durch einen Cronbachs-Alpha-Wert von 0,778 bestätigt wurde (Blanz, 2021).

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Kreativität einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg ausübt, was in Übereinstimmung mit früheren Forschungsergebnissen steht (Conradt & Bogner, 2018; Mierdel & Bogner, 2019; Roth et al., 2022a). Besonders hervorzuheben ist, dass *Flow*-Erlebnisse – Zustände intensiver Vertiefung und Freude am Lernprozess – eine besonders entscheidende Rolle für den Lernerfolg spielen (vgl. auch Conradt & Bogner, 2024). Diese Befunde unterstreichen die Notwendigkeit einer gezielten Gestaltung von Lernumgebungen, die die Entfaltung von *Act*- und *Flow*-Erfahrungen fördern.

Weiterhin sollten die Auswirkungen von Kreativität und den kognitiven Faktoren *Act* und *Flow* auf den Lernerfolg in digitalen und analogen Lernumgebungen untersucht werden. Kreativität wurde im Rahmen dieser Studie als Persönlichkeitsmerkmal betrachtet und daher nicht aktiv gefördert oder verändert. Die Korrelationsanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede in den anfänglichen Kreativitätsniveaus zwischen der digitalen und analogen Gruppe, was auf vergleichbare Ausgangsbedingungen hinweist. Dennoch wurden signifikante Unterschiede in den Korrelationen zwischen den Wissenssummenwerten der einzelnen Testzeitpunkte und den Faktoren *Act* und *Flow* in den beiden Lernumgebungen festgestellt. Im digitalen Unterrichtsmodul zeigte *Act* durchweg positive Korrelationen mit den erzielten Wissenssummenwerten, während in der analogen Gruppe keine solchen Korrelationen festgestellt wurden. Dies könnte darauf hindeuten, dass eine starke Ausprägung von *Act* in der analogen Gruppe keinen signifikanten Einfluss auf die Wissensaneignung hatte, während Lernende mit einer starken Ausprägung von *Act* in der digitalen Gruppe offenbar stärker profitierten. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen könnte die für die Lernenden ungewohnte Natur der Aktivitäten in der analogen Intervention sein, was dazu führte, dass ihre Lernkapazitäten und Aufmerksamkeit zwischen der Umsetzung von Handlungen und der Wissensaneignung verteilt wurden. Im Gegensatz dazu nutzte

die digitale Lernumgebung Aktivitäten, die den Lernenden als *Digital Natives* wahrscheinlich vertrauter waren. Der routinierte Umgang mit dieser Art von Aktivitäten könnte dazu beigetragen haben, dass der Faktor *Act* in der digitalen Gruppe stärker zum Wissenszuwachs beitrug.

Im Gegensatz dazu zeigte sich, dass *Flow* in beiden Gruppen eine signifikante Korrelation mit den Wissenssummenwerten aufwies, insbesondere im Retentionstest. Dies deutet darauf hin, dass *Flow* möglicherweise eine wichtigere Rolle für den Lernerfolg spielt als der Kreativitätsfaktor *Act*. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte der starke Einfluss von *Flow* und emotionalem Engagement auf die Motivation sein, die wiederum den akademischen Erfolg positiv beeinflusst (Özhan & Kocadere, 2020). Es bleibt jedoch festzuhalten, dass in dieser Studie, unabhängig von der Lernumgebung, keine signifikante Korrelation zwischen den Kreativitätsfaktoren *Act* und *Flow* und den Wissenszuwächsen (Wissenssummenwertdifferenzen T2-T1 & T3-T1) gefunden wurde. Dies lässt vermuten, dass andere, nicht gemessene Faktoren eine noch größere Rolle bei der Wissensaneignung spielen könnten. Zukünftige Forschung sollte diese zusätzlichen Faktoren berücksichtigen, um ein umfassenderes Verständnis darüber zu gewinnen, wie unterschiedliche Lernumgebungen den Wissenszuwachs beeinflussen.

Ein weiterer Aspekt dieser Studie betraf die Untersuchung möglicher geschlechtsspezifischer Unterschiede in der Ausprägung der Kreativität und deren Einfluss auf den Lernerfolg. Die Analyse ergab keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede, was mit den Ergebnissen aktueller Studien übereinstimmt, die darauf hinweisen, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in kreativen Fähigkeiten bei jüngeren Lernenden oft minimal sind (Mullis et al., 2020; Roth et al., 2022b). Diese Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass die Unterschiede in der sozialen und kulturellen Erziehung, die häufig zu solchen Differenzen führen, in jüngeren Altersgruppen möglicherweise weniger ausgeprägt sind und dass sich gesellschaftliche Rollenbilder im Vergleich zu früheren Studien verändert haben (Conradty & Bogner, 2018; Csikszentmihalyi, 1996).

3.5.4 Teilstudie D: Der Einfluss von Umwelteinstellungen auf den Wissenserwerb und das Umweltverhalten

In dieser Teilstudie sollte der Zusammenhang zwischen den Umwelteinstellungen der Lernenden und ihrem Wissenserwerb untersucht werden. Zunächst wurden die Einstellungsskalen AN und EA auf Basis der erhobenen Daten Rasch-kalibriert. Die Kalibrierung ergab für beide Skalen gute Fit-Indices und eine hohe Reliabilität, was deren Eignung zur Erfassung der Umwelteinstellungen in der gewählten Altersgruppe bestätigt. Um die Praktikabilität der AN-Skala für zukünftige Erhebungen zu erhöhen, wurde der ursprüngliche 45 Items umfassende Pool auf 25 Items

3 Synopsis

reduziert, ohne dabei die Zuverlässigkeit der Messung zu beeinträchtigen. Die verkürzte Skala zeigte weiterhin eine zufriedenstellende Differenzierung zwischen den Lernenden, was für ihre Anwendbarkeit im schulischen Kontext spricht.

Die Analyse der Korrelationen zwischen den Umwelteinstellungen und den Wissenstests zeigte, dass positive Umwelteinstellungen (AN, EA und INS) stark mit höheren Wissenswerten korrelieren, insbesondere bei der Betrachtung langfristigen Wissens. Lernende mit einer positiven Einstellung zur Natur (AN) und Umwelt (EA) bzw. starker Naturverbundenheit (INS) zeigten signifikante Wissenszuwächse, die über den Zeitraum der Untersuchung hinweg stabil blieben. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich positive Umwelteinstellungen der Lernenden förderlich auf das Engagement in den Unterrichtsmodulen auswirken, was wiederum zu einem tiefergehenden Lernen führt (Baierl et al., 2022; Kaiser et al., 2014). Eine weiterführende Regressionsanalyse bestätigte, dass sowohl AN als auch EA signifikante Prädiktoren für den langfristigen Wissenserwerb (Differenz der Wissenswerte T3-T1) sind. Frühere Studien (z.B. Baierl et al., 2024) deuten an, dass EA als mediierender Faktor im Lernprozess wirkt. Das bedeutet, dass der positive Einfluss von AN auf die langfristigen Wissenszuwächse wohl von EA vermittelt wird. Die Ergebnisse dieser Teilstudie erweitern diese Erkenntnisse und weisen darauf hin, dass EA einen vermittelnden Einfluss auf die Wissensretention der Lernenden haben könnte.

Zuletzt wurden die Auswirkungen der Unterrichtsmodule (Teilstudie A) auf die Umwelteinstellungen untersucht. Es konnten nur vernachlässigbare Veränderungen in den Umwelteinstellungen der Lernenden festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass Kurzzeitinterventionen im Klassenzimmer allein nicht ausreichen, um tiefgreifende und nachhaltige Veränderungen in den Umwelteinstellungen zu bewirken. Frühere Studien bestätigen, dass langfristige und kontinuierliche Bildungsansätze, die Naturerfahrungen integrieren, effektiver sind, um nachhaltige Einstellungs- und Verhaltensänderungen zu fördern (Bogner & Wiseman, 2004; Duerden & Witt, 2010; Zhao et al., 2024).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass positive Umwelteinstellungen eine zentrale Rolle im Lernprozess über Umweltfragen spielen und signifikant zum langfristigen Wissenserwerb beitragen. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Bildungsansätzen, die darauf abzielen, positive Umwelteinstellungen zu fördern, um den Wissenserwerb und das umweltbewusste Verhalten der Lernenden nachhaltig zu verbessern.

4 Literaturverzeichnis der Synopsis

- Adams, R. J., & Khoo, S.-T. (2015). *ACER ConQuest: Generalised item response modelling software* [Computer software]. Camberwell: The Australian Council for Educational Research.
- Aivaz, K. A., & Teodorescu, D. (2022). College Students' Distractions from Learning Caused by Multitasking in Online vs. Face-to-Face Classes: A Case Study at a Public University in Romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph191811188>
- Ajzen, I., & Fishbein, M. (1977). Attitude-Behavior Relations: A Theoretical Analysis and Review of Empirical Research. *Psychological Bulletin*, 84, 888–918. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.84.5.888>
- Aldous, C. (2007). Creativity, problem solving and innovative science: Insights from history, cognitive psychology and neuroscience. *International Education Journal*, 8(2), 176–186.
- Anastasiadis, T., Lampropoulos, G., & Siakas, K. (2018). Digital Game-based Learning and Serious Games in Education, 4, 139–144. <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2018.33016>
- Andersen, H. K., & Mayerl, J. (2022). Is the Effect of Environmental Attitudes on Behavior Driven Solely by Unobserved Heterogeneity? *Kolner Zeitschrift Fur Soziologie Und Sozialpsychologie*, 74(3), 381–408. <https://doi.org/10.1007/s11577-022-00855-2>
- Arbuckle, J. L. (2019). *Amos* (Version 26.0) [Computer software]. Chicago: IBM SPSS.
- Auer Verlag. (2024). *Bandolino*. <https://www.arena-verlag.de/bandolino>
- Baierl, T.-M., Kaiser, F., & Bogner, F. (2022). The supportive role of environmental attitude for learning about environmental issues. *Journal of Environmental Psychology*, 81, 101799. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101799>
- Baierl, T.-M., Kaiser, F. G., & Bogner, F. X. (2024). The role of attitude toward nature in learning about environmental issues. *Frontiers in Psychology*, 15, 1471026. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1471026>
- Baldry, C., & Hallier, J. (2009). Welcome to the House of Fun: Work Space and Social Identity. *Economic and Industrial Democracy*, 31(1), 150–172. <https://doi.org/10.1177/0143831X09351215>
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173–1182. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.51.6.1173>
- Barrera Hernández, L., Sotelo Castillo, M., Echeverría-Castro, S., & Tapia-Fonllem, C. (2020). Connectedness to Nature: Its Impact on Sustainable Behaviors and Happiness in Children. *Frontiers in Psychology*, 11, 276. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00276>
- Becker, W., & Metz, M. (2024). Zukunftsperspektiven des Einsatzes von Serious Games und Gamification in der schulischen Bildung. In W. Becker & M. Metz (Eds.), *Serious Games und Gamification in der schulischen Bildung* (1st ed. 2024, 257–262). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-44317-7_14
- Benbunan-Fich, R., & Hiltz, S. R. (1999). Impacts of Asynchronous Learning Networks on Individual and Group Problem Solving: A Field Experiment. *Group Decision and Negotiation*, 8(5), 409–426. <https://doi.org/10.1023/A:1008669710763>
- Blanz, M. (2021). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen* (2. Auflage). Kohlhammer Verlag.

- Bogner, F. X., & Wiseman, M. (2004). Outdoor ecology education and pupils' environmental perception in Preservation and Utilisation. *Science Education International*, 15(1), 27–48.
- Bond, T. G., & Fox, C. M. (2001). *Applying the Rasch Model: Fundamental measurement in the human sciences* (1st ed.). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781410600127>
- Botsch, C., & Botsch, R. (2001). Audiences and Outcomes in Online and Traditional American Government Classes: A Comparative Two-Year Case Study. *Political Science & Politics*, 34, 135–141. <https://doi.org/10.1017/S104909650100021X>
- Braun, T., & Dierkes, P. (2017). Connecting students to nature – how intensity of nature experience and student age influence the success of outdoor education programs. *Environmental Education Research*, 23(7), 937–949. <https://doi.org/10.1080/13504622.2016.1214866>
- Breslyn, W., & Green, A. E. (2022). Learning science with YouTube videos and the impacts of Covid-19. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s43031-022-00051-4>
- 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. <https://doi.org/10.1027/1016-9040/a000032>
- Campbell, D. T. (1963). Social Attitudes and Other Acquired Behavioral Dispositions. In *Psychology: A study of a science. Study II. Empirical substructure and relations with other sciences. Volume 6. Investigations of man as socius: Their place in psychology and the social sciences* (Vol. 6, pp. 94–172). McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1037/10590-003>
- Cazzolla-Gatti, R., Reich, P. B., Gamarra, J. G. P., Crowther, T., Hui, C., Morera, A., Bastin, J.-F., de-Miguel, S., Nabuurs, G.-J., Svenning, J.-C., Serra-Diaz, J. M., Merow, C., Enquist, B., Kamenetsky, M., Lee, J., Zhu, J., Fang, J., Jacobs, D. F., Pijanowski, B., . . . Liang, J. (2022). The number of tree species on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(6). <https://doi.org/10.1073/pnas.2115329119>
- Chang, K.-E., Wu, L.-J., Weng, S.-E., & Sung, Y.-T. (2012). Embedding game-based problem-solving phase into problem-posing system for mathematics learning. *Computers & Education*, 58(2), 775–786. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.002>
- Charman, S. (2013). Sharing a laugh. *International Journal of Sociology and Social Policy*, 33(3/4), 152–166. <https://doi.org/10.1108/01443331311308212>
- Chatterjee, H., & Hannan, L. (2015). Engaging the senses: Object-based learning in higher education, 1–230.
- Cheng, J., & Monroe, M. (2012). Connection to Nature: Children's Affective Attitude Toward Nature. *Environment and Behavior - ENVIRON BEHAV*, 44(1), 31–49. <https://doi.org/10.1177/0013916510385082>
- Clarke, S., Peel, D., Arnab, S., Morini, L., Keegan, H., & Wood, O. (2017). EscapED: A Framework for Creating Educational Escape Rooms and Interactive Games to For Higher/Further Education. *International Journal of Serious Games*, 4(3), 73–86. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v4i3.180>
- Clayton, S. (2003). Environmental Identity: A Conceptual and an Operational Definition. In *Identity and the natural environment: The psychological significance of nature* (45–65). MIT Press.
- Collard, P., & Looney, J. (2014). Nurturing Creativity in Education. *European Journal of Education*, 49(2), 348–364. <https://doi.org/10.1111/ejed.12090>

4 Literaturverzeichnis der Synopsis

- Connolly, T. M., MacArthur, E., Stansfield, M., & McLellan, E. (2007). A quasi-experimental study of three online learning courses in computing. *Computers & Education*, 49(2), 345–359. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.09.001>
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2018). From STEM to STEAM: How to Monitor Creativity. *Creativity Research Journal*, 30(3), 233–240. <https://doi.org/10.1080/10400419.2018.1488195>
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2019). From STEM to STEAM: Cracking the Code? How creativity & motivation interact with inquiry-based learning. *Creativity Research Journal*, 31(3), 284–295. <https://doi.org/10.1080/10400419.2019.1641678>
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2024). Learning How to Flow: Paving the Way for Lifelong Learning. In F. Paloma (Ed.). *Lifelong Learning - Education for the Future World*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.114171>
- Corazza, G. E. (2016). Potential Originality and Effectiveness: The Dynamic Definition of Creativity. *Creativity Research Journal*, 28(3), 258–267. <https://doi.org/10.1080/10400419.2016.1195627>
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. HarperCollins Publishers.
- Csikszentmihályi, M. (2000). *Beyond boredom and anxiety: Experiencing flow in work and play*. Jossey-Bass Publishers.
- Cullen, R. (2001). Addressing the digital divide. *Online Information Review*, 25(5), 311–320. <https://doi.org/10.1108/14684520110410517>
- DeHaan, R. (2011). Teaching Creative Science Thinking. *Science (New York, N.Y.)*, 334, 1499–1500. <https://doi.org/10.1126/science.1207918>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness. In A. Lugmayr, H. Franssila, C. Safran, & I. Hammouda (Eds.), *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (9–15). ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Dhawan, S. (2020). Online Learning: A Panacea in the Time of COVID-19 Crisis. *Journal of Educational Technology Systems*, 49(1), 5–22. <https://doi.org/10.1177/0047239520934018>
- 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, 379–392. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2010.03.007>
- Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Wadsworth Cengage Learning.
- Embretson, S. E., & Reise, S. P. (2000). Item response theory for psychologists. *Mahway, NJ: Erlbaum*.
- FAO. (2020). *Global forest resources assessment, 2020: Main report*. FAO.
- Fiedler, S. T., Heyne, T., & Bogner, F. X. (2021). COVID-19 and lockdown schooling: how digital learning environments influence semantic structures and sustainability knowledge. *Discover Sustainability*, 2(1), 32. <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00041-y>
- Figueroa-Flores, J. F. (2016). Gamification and Game-Based Learning: Two Strategies for the 21st Century Learner. *World Journal of Educational Research*, 3(2), 507. <https://doi.org/10.22158/wjer.v3n2p507>
- Fleissner-Martin, J., Bogner, F. X., & Paul, J. (2023). Digital vs. Analog Learning—Two Content-Similar Interventions and Learning Outcomes. *Forests*, 14(9), 1807. <https://doi.org/10.3390/f14091807>

4 Literaturverzeichnis der Synopsis

- Fotaris, P., & Mastoras, T. (2019). Escape Rooms for Learning: A Systematic Review. *Proceedings of the 12th European Conference on Game Based Learning*. Advance online publication. <https://doi.org/10.34190/GBL.19.179>
- Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG. (o. D.). *EXIT - Das Spiel*. <https://www.kosmos.de/de/content/Markenwelten/EXIT/EXIT%20Markenwelt>
- Frantz, C. M., & Mayer, F. S. (2014). The importance of connection to nature in assessing environmental education programs. *Studies in Educational Evaluation*, 41, 85–89. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2013.10.001>
- Geiger, S. M., Geiger, M., & Wilhelm, O. (2019). Environment-Specific vs. General Knowledge and Their Role in Pro-environmental Behavior. *Frontiers in Psychology*, 10, 718. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00718>
- Giang, C., Chevalier, M., Negrini, L., Peleg, R., Bonnet, E., Piatti, A., & Mondada, F. (2020). Exploring Escape Games as a Teaching Tool in Educational Robotics. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Advances in Intelligent Systems and Computing. Educational Robotics in the Context of the Maker Movement* (Vol. 946, 95–106). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_8
- Gibbs, K. (2023). Voices in practice: challenges to implementing differentiated instruction by teachers and school leaders in an Australian mainstream secondary school. *The Australian Educational Researcher*, 50(4), 1217–1232. <https://doi.org/10.1007/s13384-022-00551-2>
- Global Footprint Network. (o. D.). *Ecological Footprint Calculator*. <https://www.footprintcalculator.org/home/en>
- Goldschmidt, M., & Bogner, F. X. (2016). Learning About Genetic Engineering in an Outreach Laboratory: Influence of Motivation and Gender on Students' Cognitive Achievement. *International Journal of Science Education, Part B*, 6(2), 166–187. <https://doi.org/10.1080/21548455.2015.1031293>
- Guttman, L. (1944). A Basis for Scaling Qualitative Data. *American Sociological Review*, 9(2), 139. <https://doi.org/10.2307/2086306>
- Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does Gamification Work? -- A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences* (3025–3034). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>
- Hartman, B. A., Miller, B. K., & Nelson, D. L. (2000). The effects of hands-on occupation versus demonstration on children's recall memory. *The American Journal of Occupational Therapy : Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 54(5), 477–483. <https://doi.org/10.5014/ajot.54.5.477>
- Hattie, J. (2023). *Visible learning: the sequel: A synthesis of over 2,100 meta-analyses relating to achievement* (First edition). Routledge.
- Hazlett, Z. S., Jimenez, P. C., & Knight, J. K. (2025). Self-Testing and Follow-Through of Learning Strategies Supports Student Success. *CBE Life Sciences Education*, 24(1), ar16. <https://doi.org/10.1187/cbe.24-04-0128>
- Heimlich, J. E., & Ardoin, N. M. (2008). Understanding behavior to understand behavior change: a literature review. *Environmental Education Research*, 14(3), 215–237. <https://doi.org/10.1080/13504620802148881>
- Henriksen, D., Mishra, P., & Fisser, P. (2016). Infusing creativity and technology in 21st century education: A systemic view for change, 19, 27–37.
- Hogan, K. (2002). Small groups' ecological reasoning while making an environmental management decision. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 341–368. <https://doi.org/10.1002/tea.10025>

4 Literaturverzeichnis der Synopsis

- Hollister, B., Nair, P., Hill-Lindsay, S., & Chukoskie, L. (2022). Engagement in Online Learning: Student Attitudes and Behavior During COVID-19. *Frontiers in Education*, 7, 851019. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.851019>
- Holmes, J., & Marra, M. (2002). Having a laugh at work. *Journal of Pragmatics*, 34(12), 1683–1710. [https://doi.org/10.1016/S0378-2166\(02\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0378-2166(02)00032-2)
- Hromek, R., & Roffey, S. (2009). Promoting Social and Emotional Learning With Games. *Simulation & Gaming*, 40(5), 626–644. <https://doi.org/10.1177/1046878109333793>
- Huizinga, J. (1981). *Homo Ludens: vom Ursprung der Kultur im Spiel* [28. Aufl.]. Rowohlt Taschenbuch.
- Hyrnsalmi, S., Kimppa, K. K., & Smed, J. (2017). Gamification Ethics. In N. Lee (Ed.), *Encyclopedia of Computer Graphics and Games* (1–6). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_138-1
- IBM Corp. (2023). *IBM SPSS Statistics for Windows*, (Version 29.0.2.0) [Computer software]. Armonk, NY: IBM Corp.
- IPBES. (2019). *The global assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3831673>
- Isaacson, R., & Fujita, F. (2006). Metacognitive Knowledge Monitoring and Self-Regulated Learning. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 6(1), 39–55. <https://scholarworks.iu.edu/journals/index.php/josotl/article/view/1624>
- ISB. (2024a). *LehrplanPLUS Gymnasium Bayern*. Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/schulart/gymnasium>
- ISB. (2024b). *LehrplanPLUS Gymnasium Bayern: Biologie - Fachprofil*. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachprofil/gymnasium/biologie>
- ISB. (2024c). *LehrplanPLUS Gymnasium Bayern: Biologie Jahrgangsstufe 8*. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/8/biologie>
- ISB. (2024d). *LehrplanPLUS Gymnasium Bayern: Biologie Jahrgangsstufe 9*. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/9/biologie>
- ISB. (2024e). *LehrplanPLUS Gymnasium Bayern: Natur und Technik Jahrgangsstufe 5*. https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/5/nt_gym
- ISB. (2024f). *LehrplanPLUS Gymnasium Bayern: Natur und Technik Jahrgangsstufe 6*. https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/6/nt_gym
- Kaiser, F. G., Brügger, A., Hartig, T., Bogner, F. X., & Gutscher, H. (2014). Appreciation of nature and appreciation of environmental protection: How stable are these attitudes and which comes first? *European Review of Applied Psychology*, 64(6), 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2014.09.001>
- Kaiser, F. G., Byrka, K., & Hartig, T. (2010). Reviving Campbell’s paradigm for attitude research. *Personality and Social Psychology Review: An Official Journal of the Society for Personality and Social Psychology, Inc*, 14(4), 351–367. <https://doi.org/10.1177/1088868310366452>
- Kaiser, F. G., & Fuhrer, U. (2003). Ecological Behavior’s Dependency on Different Forms of Knowledge. *Applied Psychology*, 52(4), 598–613. <https://doi.org/10.1111/1464-0597.00153>
- Kaiser, F. G., Oerke, B., & Bogner, F. X. (2007). Behavior-based environmental attitude: Development of an instrument for adolescents. *Journal of Environmental Psychology*, 27(3), 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2007.06.004>
- Kapp, K. (2012). *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. San Francisco, CA: Pfeiffer.

4 Literaturverzeichnis der Synopsis

- Kemp, N., & Grieve, R. (2014). Face-to-face or face-to-screen? Undergraduates' opinions and test performance in classroom vs. Online learning. *Frontiers in Psychology, 5*, 1278. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01278>
- Kesenheimer, J., & Greitemeyer, T. (2021). Going Green (and Not Being Just More Pro-Social): Do Attitude and Personality Specifically Influence Pro-Environmental Behavior? *Sustainability, 13*(6), 3560. <https://doi.org/10.3390/su13063560>
- KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf.
- Knopf, J., Stein, C., & Wolter, A. (2021). Dem Täter auf der Spur... *Praxis Deutsch 289*, 22–27.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research, 8*(3), 239–260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Krettenauer, T. (2017). Pro-Environmental Behavior and Adolescent Moral Development. *Journal of Research on Adolescence: The Official Journal of the Society for Research on Adolescence, 27*(3), 581–593. <https://doi.org/10.1111/jora.12300>
- Kroski, E. (2019). *Escape rooms and other immersive experiences in the library*. American Library Association.
- Kupers, E., Lehmann-Wermser, A., McPherson, G., & van geert, P. (2019). Children's Creativity: A Theoretical Framework and Systematic Review. *Review of Educational Research, 89*(1), 93–124. <https://doi.org/10.3102/0034654318815707>
- Lamm, E., & Meeks, M. D. (2009). Workplace fun: the moderating effects of generational differences. *Employee Relations, 31*(6), 613–631. <https://doi.org/10.1108/01425450910991767>
- Lewis, T. (2008). Creativity in technology education: providing children with glimpses of their inventive potential. *International Journal of Technology and Design Education, 19*, 255–268. <https://doi.org/10.1007/s10798-008-9051-y>
- Lieberman, J. N., & Edwards, A. J. (2014). *Playfulness: Its Relationship to Imagination and Creativity*. Elsevier Science.
- Liefländer, A. K., & Bogner, F. X [F. X.] (2016). Educational impact on the relationship of environmental knowledge and attitudes. *Environmental Education Research, 24*(4), 611–624. <https://doi.org/10.1080/13504622.2016.1188265>
- Liu, P., Teng, M., & Han, C. (2020). How does environmental knowledge translate into pro-environmental behaviors? The mediating role of environmental attitudes and behavioral intentions. *Science of the Total Environment, 728*, 138126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138126>
- Liu, W. (2021). Does Teacher Immediacy Affect Students? A Systematic Review of the Association Between Teacher Verbal and Non-verbal Immediacy and Student Motivation. *Frontiers in Psychology, 12*, 713978. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.713978>
- Livingston, L. (2010). Teaching Creativity in Higher Education. *Arts Education Policy Review, 111*(2), 59–62. <https://doi.org/10.1080/10632910903455884>
- López-Pernas, S., Gordillo, A., Barra, E., & Quemada, J. (2019). Examining the Use of an Educational Escape Room for Teaching Programming in a Higher Education Setting. *IEEE Access, 7*, 31723–31737. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2902976>
- Majuri, J., Koivisto, J., & Hamari, J. (2018). Gamification of Education and Learning: A Review of Empirical Literature. In
- Maki, R., Maki, W., Patterson, M., & Whittaker, P. (2000). Evaluation of a Web-based introductory psychology course: I. Learning and satisfaction in on-line versus lecture courses.

- Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc*, 32, 230–239.
- Markowitz, E., Goldberg, L., Ashton, M., & Lee, K. (2011). Profiling the “Pro-Environmental Individual”: A Personality Perspective. *Journal of Personality*, 80, 81–111.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.2011.00721.x>
- McGonigal, J. (2011). *Reality is broken: Why games make us better and how they can change the world*. New York: The Penguin Press.
- Mierdel, J., & Bogner, F. X. (2019). Is creativity, hands-on modeling and cognitive learning gender-dependent? *Thinking Skills and Creativity*, 31, 91–102.
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.11.001>
- Miller, A. L., & Dumford, A. D. (2016). Creative cognitive processes in higher education. *The Journal of Creative Behavior*, 50(4), 282–293. <https://doi.org/10.1002/jocb.77>
- Moser, H. (2006). Die Schule auf dem Weg zum eTeaching: Analoge und digitale Medien aus der Sicht von Lehrpersonen. *MedienPädagogik: Zeitschrift Für Theorie Und Praxis Der Medienbildung*, 12, 1–20. <https://doi.org/10.21240/mpaed/12/2006.05.17.X>
- Mottarella, K., Fritzsche, B., & Parrish, T. (2004). Who Learns More? Achievement Scores Following Web-based Versus Classroom Instruction in Psychology Courses. *Psychology Learning & Teaching*, 4, 51–54. <https://doi.org/10.2304/plat.2004.4.1.51>
- Müller, C., Mildenerger, T., & Steingruber, D. (2023). Learning effectiveness of a flexible learning study programme in a blended learning design: Why are some courses more effective than others? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00379-x>
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., Kelly, D. L., & Fishbein, B. (2020). *TIMSS 2019: International Results in Mathematics and Science*. Retrieved from Boston College.
<https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/international-results/>
- Oliveira, H., & Bonito, J. (2023). Practical work in science education: a systematic literature review. *Frontiers in Education*, 8, 1151641. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1151641>
- Özhan, Ş. C., & Kocadere, S. A. (2020). The Effects of Flow, Emotional Engagement, and Motivation on Success in a Gamified Online Learning Environment. *Journal of Educational Computing Research*, 57, 073563311882315.
<https://doi.org/10.1177/0735633118823159>
- Perry-Smith, J. (2014). Social Network Ties Beyond Nonredundancy: An Experimental Investigation of the Effect of Knowledge Content and Tie Strength on Creativity. *The Journal of Applied Psychology*, 99(5), 831–846. <https://doi.org/10.1037/a0036385>
- Pfeiffer, A., Bezzina, S., Koenig, N., & Kriglstein, S. (2020). Beyond Classical Gamification: In-and Around-Game Gamification for Education. 10.34190/EEL.20.007.
https://www.researchgate.net/profile/Alexander-Pfeiffer-2/publication/343055075_Beyond_Classical_Gamification_In-and_Around-Game_Gamification_for_Education/links/5f899eb592851c14bccc3b96/Beyond-Classical-Gamification-In-and-Around-Game-Gamification-for-Education.pdf
- Pierce, G. L., & Cleary, P. F. (2024). The persistent educational digital divide and its impact on societal inequality. *PLoS One*, 19(4), e0286795.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286795>
- Plucker, J. A., & Renzulli, J. S. (1999). Psychometric approaches to the study of human creativity. In *Handbook of creativity* (35–61). Cambridge University Press.
- Pozo-Sánchez, S., Lampropoulos, G., & López-Belmonte, J. (2022). Comparing Gamification Models in Higher Education Using Face-to-Face and Virtual Escape Rooms. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 11(2), 307–322.
<https://doi.org/10.7821/naer.2022.7.1025>

- Puentedura, R. (2006). *Transformation, technology, and education*. <http://hippasus.com/resources/tte/>
- Reeves, B., & Read, J. L. (2009). *Total engagement: Using games and virtual worlds to change the way people work and businesses compete*. Harvard Business Press.
- Ren, W., Zhu, X., & Liang, Z. (2024). How does Internet access quality affect learning outcomes? A multiple mediation analysis among international students in China. *Journal of International Students*, 14(1), 449–468. <https://ojed.org/jis/article/view/5881>
- Robinson, S. K. (2012). *Out of our Minds*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780857086549>
- Rockström, J., & Sukhdev, P. (2016). *How Food Connects All the SDGs*. Stockholm Resilience Centre. <https://stockholmuniversity.app.box.com/s/qt1l67kim03mxm6lxdpbd2glo4yprycs>
- Rosen, L. D., Carrier, L. M., & Cheever, N. A. (2013). Facebook and texting made me do it: Media-induced task-switching while studying. *Computers in Human Behavior*, 29(3), 948–958. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.12.001>
- Roth, T., Conradt, C., & Bogner, F. X. (2022a). The relevance of school self-concept and creativity for CLIL outreach learning. *Studies in Educational Evaluation*, 73, 101153. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2022.101153>
- Roth, T., Conradt, C., & Bogner, F. X. (2022b). Testing Creativity and Personality to Explore Creative Potentials in the Science Classroom. *Research in Science Education*, 52, 1293–1312. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10005-x>
- Rouse, W. (2017). Lessons Learned While Escaping From a Zombie: Designing a Breakout EDU Game. *The History Teacher*, 50(4), 553–564. <http://www.jstor.org/stable/44507278>
- Sangiuliano Intra, F., Nasti, C., Massaro, R., Perretta, A. J., Di Girolamo, A., Brighi, A., & Biroli, P. (2023). Flexible Learning Environments for a Sustainable Lifelong Learning Process for Teachers in the School Context. *Sustainability*, 15(14), 11237. <https://doi.org/10.3390/su151411237>
- Schaffhauser, D. (2017). Breakout! Gaming to Learn. *T.H.E. Journal Technological Horizons in Education*, 44, 6. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86524151>
- Scheuerl, H. (1964). *Die exemplarische Lehre: Sinn und Grenzen eines didaktischen Prinzips* (2nd ed.). Niemeyer.
- Schneiderhan-Opel, J., & Bogner, F. X. (2020). The Relation between Knowledge Acquisition and Environmental Values within the Scope of a Biodiversity Learning Module. *Sustainability*, 12(5), 2036. <https://doi.org/10.3390/su12052036>
- Schultz, P. W. (2002). Knowledge, information, and household recycling: Examining the knowledge-deficit model of behavior change. *New Tools for Environmental Protection: Education, Information, and Voluntary Measures*, 67–82.
- Schultz, P. W., & Oskamp, S. (1996). Effort as a moderator of the attitude-behavior relationship: General environmental concern and recycling. *Social Psychology Quarterly*, 59(4), 375–383. <https://doi.org/10.2307/2787078>
- SCRAP Corp. (2023). *REAL ESCAPE GAME™*. <https://realescapegame.com/about/>
- Šimleša, M., Guegan, J., Blanchard, E., Tarpin-Bernard, F., & Buisine, S. (2018). The Flow Engine Framework: A Cognitive Model of Optimal Human Experience. *Europe's Journal of Psychology*, 14(1), 232–253. <https://doi.org/10.5964/ejop.v14i1.1370>
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*.
- Takagi, T. (2004). *Crimson Room* [Computer software]. https://archive.org/details/crimsonroom_flash
- Taube, O., & Vetter, M. (2019). How green defaults promote environmentally friendly decisions: Attitude-conditional default acceptance but attitude-unconditional effects on

4 Literaturverzeichnis der Synopsis

- actual choices. *Journal of Applied Social Psychology*, 49(11), 721–732.
<https://doi.org/10.1111/jasp.12629>
- Thorn, C., & Bogner, F. X. (2018). How Environmental Values Predict Acquisition of Different Cognitive Knowledge Types with Regard to Forest Conservation. *Sustainability*, 10(7), 2188. <https://doi.org/10.3390/su10072188>
- Tomlinson, B., & Whittaker, C. (2013). *Blended learning in english language teaching: Course design and Implementation*. British Council.
- Twigg, C. (2003). Improving Quality and Reducing Cost: Designs for Effective Learning. *Change*, 35, 22–29. <https://doi.org/10.1080/00091380309604107>
- UN. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- Uncapher, M. R., Lin, L., Rosen, L. D., Kirkorian, H. L., Baron, N. S., Bailey, K., Cantor, J., Strayer, D. L., Parsons, T. D., & Wagner, A. D. (2017). Media Multitasking and Cognitive, Psychological, Neural, and Learning Differences. *Pediatrics*, 140(s2), S62–S66.
<https://doi.org/10.1542/peds.2016-1758D>
- United Nations Education, Scientific, and Cultural organization & United Nations environment programme. (1977). *The tbilisi declaration: Intergovernmental conference on environmental education*. <http://www.gdrc.org/uem/ee/tbilisi.html>
- Vegt, N., Visch, V., Ridder, H. de, & Vermeeren, A. (2014). Designing Gamification to Guide Competitive and Cooperative Behavior in Teamwork. In T. Reiners & L. C. Wood (Eds.), *Gamification in Education and Business* (513–533). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-10208-5_26
- Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M.-C. P., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, 31, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>
- Verstegen, D., Dailey-Hebert, A., Fonteijn, H., Clarebout, G., & Spruijt, A. (2018). How do Virtual Teams Collaborate in Online Learning Tasks in a MOOC? *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 19(4).
<https://doi.org/10.19173/irrodl.v19i4.3528>
- Virvou, M., Katsionis, G., & Manos, K. (2005). Combining Software Games with Education: Evaluation of its Educational Effectiveness. *Educational Technology & Society*, 8, 54–65.
- Walsh, B., & Spence, M. (2018). Leveraging Escape Room Popularity to Provide First-Year Students with an Introduction to Engineering Information. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*. Advance online publication.
<https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.13054>
- Wang, A., & Newlin, M. (2000). Characteristics of Students Who Enroll and Succeed in Psychology Web-Based Classes. *Journal of Educational Psychology*, 92, 137–143.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.92.1.137>
- Waschull, S. B. (2001). The Online Delivery of Psychology Courses: Attrition, Performance, and Evaluation. *Teaching of Psychology*, 28(2), 143–147.
https://doi.org/10.1207/S15328023TOP2802_15
- Whitburn, J., Linklater, W., & Abrahamse, W. (2019). Meta-analysis of human connection to nature and proenvironmental behavior. *Conservation Biology*, 34(1) 180–191.
<https://doi.org/10.1111/cobi.13381>
- Wilson, J. (1988). *Behind Closed Doors* [Computer software]. Zenobi Software. <https://worldofspectrum.net/item/0005998/>
- Wright, B. D., Linacre, J. M., Gustafson, J.-E., & Martin-Lof, P. (1994). Reasonable mean-square fit values. *Rasch Measurement Transactions*, 8(3), 370.
<http://www.rasch.org/rmt/rmt83b.htm>

4 Literaturverzeichnis der Synopsis

- Wyse, D., & Ferrari, A. (2015). Creativity and education: comparing the national curricula of the states of the European Union and the United Kingdom. *British Educational Research Journal*, 41(1), 30–47. <http://www.jstor.org/stable/43297643>
- Wyss, A. M., Knoch, D., & Berger, S. (2022). When and how pro-environmental attitudes turn into behavior: The role of costs, benefits, and self-control. *Journal of Environmental Psychology*, 79, 101748. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101748>
- Yaseen, H., Mohammad, A. S., Ashal, N., Abusaimeh, H., Ali, A., & Sharabati, A.-A. A. (2025). The Impact of Adaptive Learning Technologies, Personalized Feedback, and Interactive AI Tools on Student Engagement: The Moderating Role of Digital Literacy. *Sustainability*, 17(3), 1133. <https://doi.org/10.3390/su17031133>
- Zeegers, Y., & Francis Clark, I. (2014). Students' perceptions of education for sustainable development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 15(2), 242–253. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-09-2012-0079>
- Zelenski, J., & Nisbet, E. (2014). Happiness and Feeling Connected: The Distinct Role of Nature Relatedness. *Environment and Behavior*, 46(1), 3–23. <https://doi.org/10.1177/0013916512451901>
- Zhao, Y., Liu, X., & Han, X. (2024). Enhancing pro-environmental behavior through nature-contact environmental education: an empirical analysis based on randomized controlled experiment design. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1491780. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1491780>

5 Teilarbeiten

In diesem Kapitel werden die vier Teilarbeiten und weitere Publikationen der Autorin aufgelistet, gefolgt von einer Schilderung des Eigenanteils jeder Arbeit. Abschließend werden die Originalfassungen der Veröffentlichungen eingefügt.

5.1 Publikationsliste

Teil der Dissertation:

- A. Fleissner-Martin, J., & Bogner, F. X. (2024). Save the forests! — Gamified learning. *The American Biology Teacher*, 86(4), 193-200. <https://doi.org/10.1525/abt.2024.86.4.193>
- B. Fleissner-Martin, J., Bogner, F. X., & Paul, J. (2023). Digital vs. analog learning—Two content-similar interventions and learning outcomes. *Forests*, 14(9), 1807. <https://doi.org/10.3390/f14091807>
- C. Fleissner-Martin, J., Bogner, F. X., & Paul, J. (2025). Creativity as Key Trigger to Cognitive Achievement: Effects of Digital and Analog Learning Interventions. *Research in Science Education*, 55. 669-686. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10211-3>
- D. Fleissner-Martin, J., Baierl, T.-M., Paul, J. & Bogner F. X. (2026) Unlocking green minds: role of attitudes in Edu-escape games. *Frontiers in Education*, 11, 1766028. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1766028>

Nicht Teil der Dissertation:

- a. Martin, T., Fleissner, J., Milius, W., Breu, J. (2016). Behind Crime Scenes: The Crystal Structure of Commercial Luminol. *Crystal Growth & Design*, 16(5), 3014-3018. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.6b00425>
- b. Martin, T., Fleissner, J., Milius, W. & Breu, J. (2017), The Forgotten Polymorphism of Hydrazine Sulfate: Crystal Structure of the Metastable Monoclinic Form II. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 643(23), 2019-2023. <https://doi.org/10.1002/zaac.201700336>
- c. Martin, T., Fleissner, J., Milius, W. and Breu, J. (2020), The Upper Limit of Luminol's Amphiprotism: The Crystal Structure of 5-Ammonium-2-hydro-1,4-phthalzinediol Sulfate(IV). *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 646(3), 162-165. <https://doi.org/10.1002/zaac.201900328>

5.2 Darstellung des Eigenanteils

In meiner Dissertation war ich maßgeblich zur Konzeption, Durchführung und Analyse der verschiedenen Teilstudien verantwortlich. Im Folgenden sind die Schilderungen in die vier Teilstudien gegliedert.

In **Teilstudie A** habe ich die beiden beschriebenen Unterrichtsmodule eigenständig entwickelt und in meinen damaligen drei achten Klassen selbst durchgeführt. Alle weiteren teilnehmenden Lehrkräfte habe ich persönlich rekrutiert und instruiert, um die einheitliche Durchführung der Module sicherzustellen. Einige Elemente der Unterrichtsmaterialien basieren auf bestehenden Vorlagen, die ich angepasst und weiterentwickelt habe. Diese wurden in den entsprechenden Bereichen der Unterrichtsmaterialien gekennzeichnet. Das Manuskript zum analogen Unterrichtsmodul habe ich als Erstautorin verfasst und die Anpassungen des Moduls für den Einsatz in amerikanischen Schulen vorgenommen. Die finale Fassung der Veröffentlichung wurde in Zusammenarbeit mit meinem Doktorvater, Prof. Dr. Franz X. Bogner, erarbeitet.

Für **Teilstudie B** habe ich einen Fragebogen zur Wissenserhebung entworfen und zusammen mit Prof. Dr. F.X. Bogner verfeinert. Die Datenerhebung, Datenkuration, statistische Auswertung, Interpretation und Diskussion der Ergebnisse habe ich unter der Supervision von Prof. Dr. Bogner durchgeführt. Den Erstentwurf der Verschriftlichung habe ich selbst erstellt, der anschließend durch Prof. Dr. Franz X. Bogner und Prof. Dr. Jürgen Paul überarbeitet wurde.

In **Teilstudie C** wurden die Forschungsfragen, sämtliche statistische Analysen sowie deren Visualisierung von mir unter der Supervision von Prof. Dr. Franz X. Bogner entwickelt bzw. durchgeführt. Auch die Verschriftlichung des Erstentwurfs wurde von mir übernommen, wobei Prof. Dr. Franz X. Bogner und Prof. Dr. Jürgen Paul zu den abschließenden Überarbeitungen beitrugen.

Für **Teilstudie D** habe ich die statistischen Analysen, deren Visualisierung und Interpretation ich in enger Zusammenarbeit mit der Zweitautorin Dr. Tessa-Marie Baierl durchgeführt. Auch hier habe ich die Verschriftlichung des Erstentwurfs übernommen. Die abschließenden Überarbeitungen erfolgten durch Dr. Tessa-Marie Baierl und meinen Doktorvätern, Prof. Dr. Franz X. Bogner und Prof. Dr. Jürgen Paul.

Insgesamt habe ich durch die eigenständige Konzeption, Durchführung und Auswertung der Unterrichtsmodule sowie die Erstellung der Manuskripte einen signifikanten Eigenanteil an dieser Dissertation erbracht, der durch die enge Zusammenarbeit und Unterstützung meiner Doktorväter bzw. meiner Kollegin Dr. Tessa-Marie Baierl begleitet wurde.

5.3 Teilarbeit A

The American Biology Teacher

veröffentlicht: 25. April 2024

<https://doi.org/10.1525/abt.2024.86.4.193>

Save the Forests! – Gamified Learning

Juliane Fleissner-Martin & Franz X. Bogner

University of Bayreuth, Department of Biology and Chemistry Education, Centre of Math & Science Education (Z-MNU), 95447, Bayreuth, Germany

FEATURE ARTICLE

Save the Forests!—Gamified Learning

JULIANE FLEISSNER-MARTIN,
FRANZ X. BOGNER

**ABSTRACT**

Addressing human-made environmental problems such as deforestation is an ongoing educational challenge. Promising educational approaches include cooperative decision-making and attempt via a high level of motivation to promote pro-environmental behaviors. Knowledge about the forest ecosystem, including its threats, is supposed to strengthen responsibilities and individual behavioral preferences. The “Save the Forests!” module engages students in hands-on learning activities under the frame of an educational Escape Game (Edu Breakout). Based on nine workstations, it includes various cooperative activities focusing on the forest ecosystem, its ecosystem services, and common tree species. Students realize advantages of recycling, gain insight into paper production and associated resource consumption, compare eco-labels for sustainable paper products, and reflect on consumer decisions. Additionally, the students learn about habitat situations after clear-cutting, forest fires, or storm damages (succession), including strategies for dealing with deadwood based on scientific data. Besides experiments and challenging tasks, students learn about the ecological footprint and greenwashing by clarifying often-used terms in sustainability contexts. In an accompanied quantitative study approach, students participating in the learning module significantly increased their knowledge scores in a pre-post comparison ($n = 135$, $p < 0.001$, $d = 0.58$).

Key Words: Ecosystem; Edu Breakout; Forest; Structured inquiry-based learning; Sustainability.

○ Introduction

Forests encompass far more than simply providing wood for construction purposes and paper production (just to name two examples). In line with the concept of ecosystem services, forests simultaneously fulfill economic, social, and even protective functions. Intact they can prevent or reduce the extent of natural hazards such as rockfalls, avalanches, or soil erosion, or at least reduce

With the primary goal of promoting environmental literacy, environmental education and education for sustainable development (ESD) approaches aim to raise awareness and encourage environmentally conscious behaviors

their magnitude (Brang et al., 2001; Forbes et al., 2011). Forests filter and store water while reducing risks of drought and flooding (Berger & Rey, 2004; FAO, 2013). While contributing to air pollution reduction (Nowak et al., 2018) they actively manage climate change as carbon sinks (Luyssaert et al., 2008). The latter functions are more crucial than ever as direct and indirect anthropogenic activities increase climate change (IPBES, 2019). Nevertheless, forests, including ecologically precious rainforests, are increasingly threatened by clear-cutting. These long-lasting ecosystems require decades of growing up, which is why coping with environmental changes is more complicated compared with most other ecosystems (Thom et al., 2017). As any disturbance causes changes in species composition, forests at all stages of succession may contribute critically to habitat and wildlife diversity (Spies, 2004). Nevertheless, forests not only differ due to disturbances, even old-growth forests

may vary in size, tree age, and carbon storage capacity correlation with site conditions, regional factors, species composition, and more. These differences are one reason forest ecology does not have a universal definition of old-growth forests (Wirth et al., 2009).

Given the mainly anthropogenic causes, reducing environmental threats such as forest degradation and deforestation strongly depends on a socioecological transformation toward sustainable consumption and management of nature. External factors such as taxes, bans, or fines on their own are regarded insufficient as sales revenues are too tempting (Ehrlich & Pringle, 2008). A socio-cultural change of attitude toward more sustainability and environmental protection via education needs to establish a consumption behavior in balance with the regenerative capacity of natural environments (Liefänder et al., 2013). Teaching should acknowledge strengthening environmental

attitudes, to implement this goal as effectively as possible. At the same time, skills and knowledge must be imparted, serving as the

The American Biology Teacher, Vol. 86, No. 4, pp. 193–200, ISSN 0002-7685, electronic ISSN 1938-4211. © 2024 by National Association of Biology Teachers. All rights reserved. Please direct all requests for permission to photocopy or reproduce article content through the University of California Press's Reprints and Permissions web page, <https://www.ucpress.edu/journals/reprints-permissions>. DOI: <https://doi.org/10.1525/abt.2024.86.4.193>.

5 Teilarbeiten

cornerstones of the environmentally friendly behaviors required for sustainable development (Kossack & Bogner, 2012). With the primary goal of promoting environmental literacy, environmental education and education for sustainable development (ESD) approaches aim to raise awareness and encourage environmentally conscious behaviors (Farmer et al., 2007; Thorn et al., 2016). Appropriate environmental education is essential for shaping a society fit for the future (Hauff & Kuhnke, 2019). Following this goal, we developed a gamified module to promote forest-friendly behaviors.

Gamification describes the integration of playful elements into an existing learning setting, such as traditional e-learning or, in our case, station-based learning. Typical examples are point-based reward systems, competition with others, game rules, playful task formats, and puzzles (Laber, 2022). While game-based learning describes a learning paradigm with many interrelated, game-like elements, gamification describes the individual game-like features (Laber, 2022). Although the two terms are not identical, there are similarities: game-based learning creates a playful environment for learning, while gamification provides active elements (Laber, 2022).

A clearly defined goal—in our case, opening a mysterious locked chest—creates high intrinsic motivation throughout the learning process. Learners keep the focus on the topic to be learned and are highly motivated over the duration of the training. Csikszentmihályi

(2000) called this state of sustained focus “flow”—the highest form of intrinsic motivation and, accordingly, a state in which time seems to fly. Only what is to be learned counts, free from distractions. In the state of flow, learners are neither over- nor under-challenged. The transfer of learning from this intrinsic motivation is then at a maximum, even if it cannot always be achieved.

○ Student Objectives in Alignment with NGSS (Next Generation Science Standards)

Our module focuses on forests as ecosystems, human impact, sustainability, and prevention strategies. To complete the tasks, students must demonstrate text comprehension, draw and interpret diagrams, and utilize basic science skills. Therefore, the module is recommended for students in eighth grade and above. All activities are embedded in the NGSS framework (Table 1) and overlap with the Bavarian curriculum. The students will

- receive an overview of the topics and terminology;
- understand the layers of the forest and the importance of the moss layer;

Table 1. Alignment of the learning module with the *Next Generation Science Standards* (NGSS Lead States, 2013).

Disciplinary Core Ideas	Student Outcomes
K-ESS3-3. Communicate solutions that will reduce the impact of humans on the land, water, air, and/or other living things in the local environment.	Students understand that their way of life (e.g., the use of paper products) influences the environment. Students collect and assess solutions to reduce their ecological footprint.
MS-ESS3-3. Apply scientific principles to design a method for monitoring and minimizing a human impact on the environment. HS-ESS3-1. Construct an explanation based on evidence for how the availability of natural resources, occurrence of natural hazards, and changes in climate have influenced human activity.	Students identify relationships between human activities (mainly deforestation) and negative environmental impacts.
HS-ESS3-4. Evaluate or refine a technological solution that reduces impacts of human activities on natural systems.	Students recognize the importance of waste separation for effectively recycling paper products. Students evaluate eco-labels for paper products based on their importance to environmental protection. Students acknowledge recycling and purchasing paper products made from recycled paper as an essential measure against deforestation.
HS-LS2-7. Design, evaluate, and refine a solution for reducing the impacts of human activities on the environment and biodiversity.	Students understand that all human activity, even paper consumption, draws on natural resources, which has consequences for the natural environment. Students discuss the ideal management of deadwood in forests using data. Students understand that all pillars of the three-pillar sustainability model must be considered when making social decisions to achieve sustainable changes. Students know that to evaluate solutions, it is essential to consider social, economic, and environmental impacts.

5 Teilarbeiten

- determine common tree species using a simplified determination key;
- gain an understanding of the process of succession and the importance of deadwood;
- come to realize the resource consumption in paper production;
- acknowledge the significance of proper recycling as a solution to minimize human impacts on the environment (MS-ESS3-3);
- develop an awareness of how to reduce an individual's ecological footprint;
- come to realize that there is more to sustainability than the ecological aspects by learning about the three-pillar model of sustainability;
- identify relationships between human activities (mainly deforestation) and negative environmental impacts and the occurrence of natural hazards, for example, floods, droughts, and soil erosion; and
- evaluate human behaviors for their harmfulness to forests.

The disciplinary core ideas are the *Interdependent Relationships in Ecosystems* and *Earth and Human Activity* while focusing on *Human Impacts on Earth and Sustainability*. *Natural Resources* are also a side topic. Accordingly, the main crosscutting concepts are *Cause and Effect*; the *Influence of Science, Engineering, and Technology on Society and the Natural World*; and deforestation's (irreversible) effects. The

goal is to develop an awareness of the importance of forests and a willingness to protect these critical ecosystems. Therefore, the module focuses on developing explanations, designing solutions, and analyzing and interpreting data according to science and engineering practices (Table 1). A detailed description of the *disciplinary core ideas* and *student outcomes* is presented in Table 1.

○ The Learner-Centered Module and Exercises

The learning module was designed as an Edu Breakout for approximately 220 minutes and should ideally be done in one run or two double lessons. All stations are guided by a workbook and can be accomplished independently by focusing on different key aspects. At each station, students work out a code with which they open a lock on the locked chest that contains a small reward.

To encourage cooperative learning among students, they complete all tasks in teams of three to four peers. The general introduction, the nine workstations, and the final evaluation take, on average, about 20 minutes each, resulting in a total duration of about 220 minutes for the entire learning unit. For fast-working teams, final puzzles were created in which they can test their newly acquired knowledge. An overview of the nine stations-based learning circle is shown in Figure 1. Each student receives a workbook at the beginning of the module (Supplementary Material SM 1;

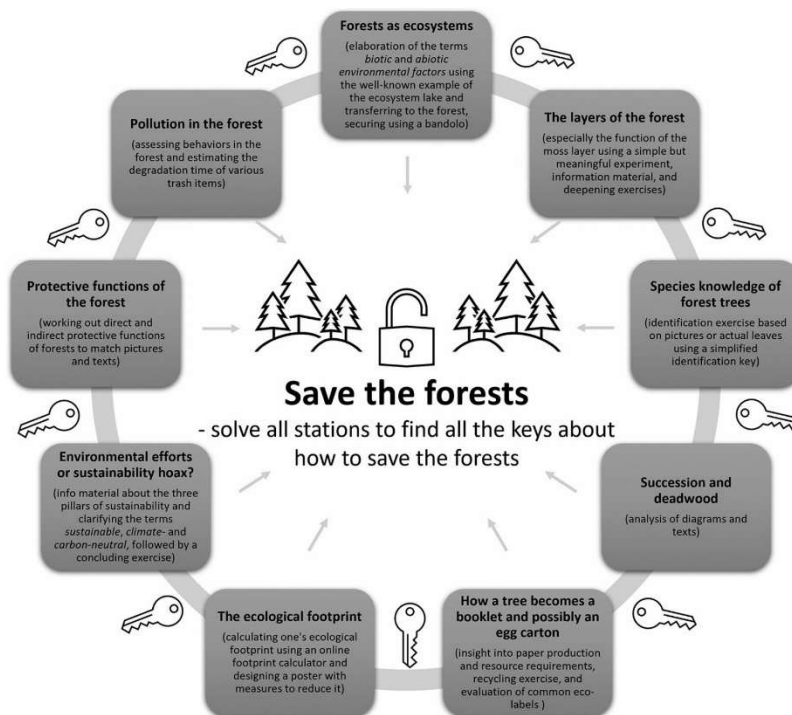


Figure 1. The nine stations and tasks of the learning module.

5 Teilarbeiten

available as a Supplemental Material with the online version of this article), which contains all tasks required for each station. Additional materials, such as laboratory equipment, information cards, and sample solutions, are set up at the corresponding stations (SM 4; available as a Supplemental Material with the online version of this article). The great benefits of this learning module are that the tasks are self-explanatory, and the students work uninterruptedly at their own pace. The teacher merely acts as an advisor and has plenty of time to support those in need. By completing the required tasks of each station, the students work out a code to unlock one of the combination locks. If the lock opens, their code and, therefore, their answers are correct; if not, the students must rethink their solutions. This ensures that the students solve the tasks and prevents transcribing the sample solutions.


Pre-activity Preparation

Print the workbooks, sample solutions, and methodological tools (SMs 1, 5, and 4; available as Supplemental Materials with the online version of this article). Once the boxes with the combination locks and the materials for the experiments are prepared, the teacher should schedule half an hour to prepare the classroom:

- One school desk for each station (Ideally, stations 2, 5, 6, and 9 are set up twice for classes with more than 24 students)
- Placing the laptops/tablets and other materials
- Starting the projector and projecting the first slide of the presentation for the introduction

Activity and Learning Content

The teacher begins the session by playing an audio of forest noises. The students are invited to describe what they hear and where they think the sound was recorded. This will raise the students' attention, and they will identify the noises as birds singing and leaves rustling and will suggest that it was recorded in a forest. If deaf or hard-of-hearing students are part of the class, teachers could bring some items found in a nearby forest instead of playing the sound and letting the students make assumptions about where these items can be found. Afterward, the teacher confirms the assumption by showing a presentation slide with a picture of a healthy forest. To address the environmental issue of forest degradation, the teacher transits to images of burning, deforested, polluted, and diseased forests. These might evoke emotions and illustrate to the students the hardship our forests are currently in. In this context, the main point, "What can we do to save our forests?" is given, which calls the students to action. After the teacher hands out the workbooks (Figure 2), presents some short instructions about how the learning module works, and divides the class into groups, the students can start working on the stations. The teacher's manual (SM 2; available as Supplemental Material with the online version of this article) lists all required materials. How the groups are formed is primarily at the discretion of the teacher. From our experience, however, it is recommended to form heterogeneous groups. In this way, the lower-performing students can be supported by higher-performing peers, and the work pace of all groups can be equalized.

 **Task 4:** Set up the experiment as shown in Figure 2. Then pour 50 ml of water simultaneously into each funnel. Document the amount of water flow through the different funnels at the specified measurement times. Use the stopwatch for this.

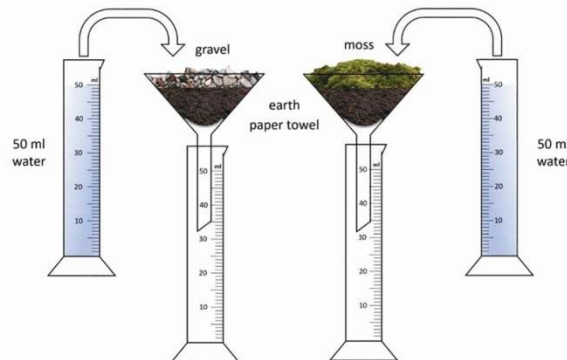


Figure 2: Experimental setup for determining the water flow rate.

time [s]	20	40	60	80	100	120	140	160	180
water flow rate of gravel [ml]									
water flow rate of moss [ml]									

Figure 2. Workbook instructions for the experiment at station 2. All necessary materials are set up at the station. Students measure and compare the water flow rate of soil covered with gravel and moss. See SM 1 provided as Supplemental Material with the online version of this article.

Station 1: The Forest—an Important Ecosystem

The students recap the definition of the term *ecosystem* and independently work out a definition for *abiotic* and *biotic factors*. They use an illustration of the lake ecosystem and transfer their acquired knowledge to the forest ecosystem. Instead of giving a definition, the students are invited to look closely to identify the core aspects and find a suitable definition. After the students have checked their solutions using the sample solution, they need to apply their gained knowledge to solve the bandolo and get the lock code.

Station 2: The Layers of the Forest

To ensure everyone is involved, the students take turns reading out information cards about the layers of the forest and use them to label an illustration in the workbook. Then, they conduct a simple but impressive model experiment in which they measure and graph the water flow rate from earth covered with gravel in contrast to fresh moss. This experiment illustrates the importance of the moss layer as a water reservoir and trains scientific methods. In further tasks, the students deepen and link their acquired knowledge, especially in the context of the basic biological principle of adaptation.

Station 3: Which Trees Grow in the Forest?

In a recent study, Gatti and colleagues (2022) reported 64,088 tree species exist worldwide—already 8,646 in North America. Students know the logos of numerous brands, but experience shows that most of them cannot even name ten native tree species. To improve students' knowledge of native forest trees, they use a simplified determination key to identify four tree species by their leaves. The teachers can decide whether to provide real leaves or the provided leaf illustration set. Info cards offer further information for those interested and can be used to assist in the identification process. Whether the identification was successful can be checked using the coding table. The tree species are correct if the code opens the lock. Thus, no sample solution is necessary, and a more intensive and, if critical, repeated occupation with the identification key is achieved.

Station 4: Storm Damage and Succession

As students know, storms move across the United States every year with sometimes devastating consequences for the population and nature. At this station, students will examine the effects on forests and evaluate options for dealing with deadwood. In addition, they learn about the stages of succession and develop a material-based explanation for why fireweed is one of the first species to colonize a fallow area after storm damage. This links to the basic biological principle of structures and functions. To open the next lock, the students must check their answers using the sample solutions. They get the digits for the combination lock by choosing the correct answers.

Station 5: How a Tree Becomes a Booklet and Possibly an Egg Carton

Paper production consumes resources such as wood, water, and energy, but paper products may have up to seven lives if recycled correctly. In this way, large quantities of resources can be saved. This station was designed to raise students' awareness about the importance of waste separation for a high recycling rate and to show how they can contribute to protecting the environment and, above all,

the forests. The students are given an insight into paper production and become aware of the consumption of resources while checking the correctness of various statements. The students are then asked to decide in which garbage (household waste or recycling bin) they would dispose paper products. They can visualize the solutions written on the things and check their answers using the light of the secret ink pen. Last, the students evaluate different notebooks for their environmental friendliness by looking at the eco-labels printed on them.

Station 6: The Ecological Footprint

How much one's lifestyle affects the environment and how many Earths would be needed if everyone lived that way can be illustrated by their ecological footprint. The students inform themselves about the ecological footprint concept, determine their footprint using the online footprint calculator powered by the *Global Footprint Network*, and compare it to that of their country and the world. They investigate the impact of reducing a self-weighted factor, discuss their findings, and collect tips for behaviors that can reduce the ecological footprint for inclusion on a poster displayed in the classroom at the end of the module. To obtain the lock code, the students must solve a puzzle and answer a question that becomes legible this way.

Station 7: Environmental Efforts or Sustainability Hoax?—The Meaning of “Sustainable,” “Climate-Neutral,” and “CO₂-Neutral”

The terms “sustainable,” “climate-neutral,” and “CO₂-neutral” are frequently used in the media with an inflationary tone. Few people know what these terms stand for. That is why the students look closely at these terms. To promote students' comprehension of the given text, they will mark important information and answer comprehension questions. When sustainability is mentioned, most people think of only the ecological aspects. However, it is essential for sustainable development that the possibilities of future generations are not restricted and that they can continue to satisfy their needs. Thus, social and economic aspects must also be considered in addition to ecological ones. This is made clear to the students by introducing the three pillars of sustainability.

Station 8: The Protective Functions of the Forest

Most students know that the plants in forests provide food and habitat for various animals, but not that forest destruction can lead to increased environmental hazards. At this station, students look at different pictures and are asked to make assumptions about the protective functions of the forest. Then they check their beliefs using the information on the back of the cards, which they read to each other. Afterward, they complete an overview in their workbook by gluing matching pictures in and filling out the blanks. To ensure that each card is read carefully, bold letters have been added to the texts that encode the lock combination. If the bold letters are read one after another, the letters on three of the cards will show numbers written out in full, e.g. “seven.”

Station 9: Pollution in the Forest

The last station introduces students to the problem of forest pollution. They evaluate behaviors in the forest for their damaging effects and estimate the degradation times of various trash items that are often disposed of in the woods. These are displayed at the station,

and the solutions are at their bottom. To make the temporal dimensions clearer to the students, the degradation times of the trash items are set in relation to historical events.

Additional Station: Puzzles or Guessing Game

A few optional puzzles (e.g., crossword and search puzzles) have been created to prevent particularly fast-working students from getting bored while waiting for others. In those, the students can test their acquired knowledge in a fun way. The puzzles are on the last pages of their workbooks. For those who do not enjoy solving puzzles, a guessing game is provided (SM 4; provided as a Supplemental Material with the online version of this article). One student draws a card and describes the word on the top without using the three words below. The other group members guess the forest-related term. The first one guessing right gets the card. In the end, the student with the most cards is the winner. While playing, the students need to refer to their newly gained knowledge in a fun and competitive way helping them to memorize the previously learned content even better.

Final Evaluation

To conclude the learning unit, a final evaluation takes place in class. A circle facilitates communication, and the teacher could use the last slide of the provided presentation for moderation. Students respond to the four reflection questions:

- What content was significant to you and why?
- Was there any content that completely contradicted what you thought you knew?
- What content was difficult for you to understand? What was the reason? How did you overcome the difficulties?
- Do you still have unanswered questions?

Reflecting on one's learning process can strengthen metacognitive competencies that are important for learning success. The more

objectively students can assess themselves, the more likely they will succeed in planning, regulating, and optimizing future learning processes by checking how well they have understood the content. Consequently, debriefing is not just about enumerating what students were particularly interested in or what they enjoyed the most; instead, a link should be made between factual content and the student's approach to that content. In addition, this way, a summary takes place, and the students can profit from the experiences of others.

○ Experiences with Students

In the feedback form, the involved teachers stated a higher motivation and concentration on the issue than in regular lessons: The students enjoyed all stations but were particularly enthusiastic about stations 2 (the layers of the forest with the experiment on the function of the moss layer) and 6 (determining their ecological footprint). Furthermore, the teachers reported hardly any need for support, even with lower-performing classes, and that everyone had completed all stations within the planned time frame of four lessons. However, setting up every station twice is advisable for larger groups to save time.

Most students gave positive feedback and appreciated the Edu Breakout as a great alternative to regular classes. They wished to do something like this more often. The students also stated that they felt like they had acquired knowledge. This can be confirmed by evaluating the knowledge questionnaires consisting of 25 questions filled in before and right after the learning module. Assessment examples used for the pre- and posttest are displayed in Table 2.

The results of the pretest-posttest comparison are presented in a scatterplot (Figure 3). According to Cohen (1992), the module showed a medium effect ($n = 135$, $p < 0.001$, $d = 0.58$; Figure 3). These results align with earlier studies such as Thorn & Bogner (2018).

Table 2. Assessment examples of the pre- and posttest.

Assessment	Correct Answer
For sustainable development, one should... a) ... act ecologically so that our grandchildren have an intact environment. b) ... act economically so that our grandchildren do not live in poverty. c) ... act socially so that our grandchildren live in peace. d) ... treat environmental, social, and economic aspects equally.	d
Abiotic factors are, for example, ... a) ... predators and competitors. b) ... minerals and food. c) ... water and light. d) ... humans and industry.	c
Paper ... a) ... cannot be decomposed by soil organisms in the forest. b) ... can be recycled up to six times. c) ... that is labeled wood-free contains no wood. d) ... can also be recycled soiled (e.g., pizza boxes).	b

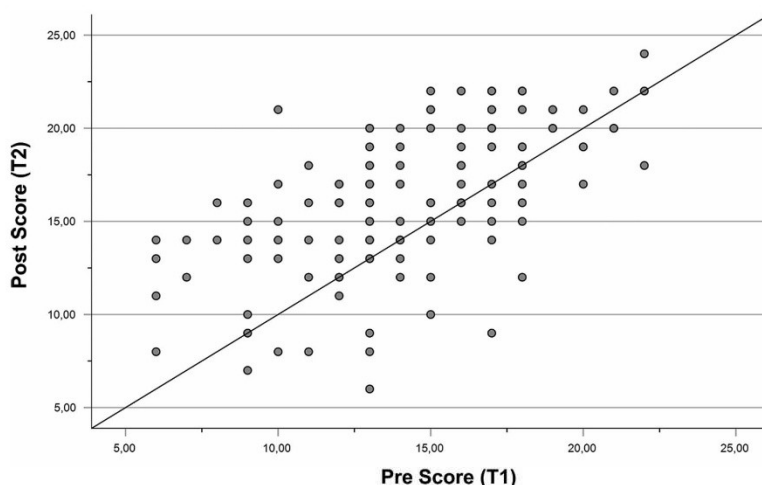


Figure 3. Scatter plot of scores from the Pre-intervention-test (T1) and Post-intervention-test (T2) for 135 students. It shows that students acquired knowledge during the module. The maximum possible score was 25 points. The solid line is the one-to-one line. If there were no change in score between the two exams, the data point would fall on the one-to-one line. Points above this line indicate an improvement in score following the intervention. Those below the line scored better on the pretest than on the posttest. The latter could, for example, have guessed well in the pretest or answered seriously and probably “did not feel like” filling out the questionnaire, randomly choosing answers, or even choosing wrong answers on purpose in the posttest.

○ Conclusion

The described module has shown its effect on student learning. Science classrooms provide an ideal framework for placing such topics in classrooms within an inquiry-based, hands-on learning approach. Our present module is in line with the NGSS (2013) by using interaction skills supported by a workbook for later reference, and it provides an option to set in the described environmental issue of deforestation in teaching contexts.

○ Acknowledgments

We are grateful to all the schools and teachers who participated with their students. We also thank the Bavarian Ministry of Education (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus; StMBK) for permitting our study (IV7-BO4106.2022/6/13, 31.05.2022) and the University of Bayreuth.

References

- Berger, F., & Rey, F. (2004). Mountain protection forests against natural hazards and risks: New French developments by integrating forests in risk zoning. *Natural Hazards*, 33(3), 395–404. <https://doi.org/10.1023/B:HAZ.0000048468.67886.e5>
- Brang, P., Schnenberger, W., Ott, E., & Gardner, B. (2001). Forests as protection from natural Hazards. In J. Evans (Ed.), *The forests handbook* (Vol. 2, pp. 53–81). Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470757079.ch3>
- Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, USA, 1988; p. 82. ISBN 0-8058-0283-5.
- Csikszentmihályi, M. (2000). *Beyond boredom and anxiety: Experiencing flow in work and play*. Jossey-Bass.
- Ehrlich, P. R., & Pringle, R. M. (2008). Where does biodiversity go from here? A grim business-as-usual forecast and a hopeful portfolio of partial solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 11579–11586. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801911105>
- FAO. (2013). *Forests and water – international momentum and action*. (p. 7). <https://www.fao.org/3/i3129e/i3129e.pdf>
- Farmer, J., Knapp, D., & Benton, G. M. (2007). An elementary school environmental education field trip: Long-term effects on ecological and environmental knowledge and attitude development. *The Journal of Environmental Education*, 38(3), 33–42. <https://doi.org/10.3200/JOEE.38.3.33-42>
- Forbes, K., Broadhead, J., Bischetti, G. B., Brardinoni, F., Dykes, A. L., Gray, D., Imaizumi, F., Kuriakose, S. L., Osman, N., Petley, D. N., Stokes, A., & Verbist, B. (2011). Forests and landslides: The role of trees and forests in the prevention of landslides and rehabilitation of landslide-affected areas in Asia. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand*, 42. <http://www.fao.org/3/a-ba0126e.pdf>
- Gatti, R. C., Reich, P. B., Gamarra, J. G. P., Crowther, T., Hui, C., Morera, A., Bastin, J.-F., de-Miguel, S., Nabuurs, G.-J., Svenning, J.-C., Serra-Diaz, J. M.,

5 Teilarbeiten

- Merow, C., Enquist, B., Kamenetsky, M., Lee, J., Zhu, J., Fang, J., Jacobs, D. F., Pijanowski, B., & Liang, J. (2022). The number of tree species on earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *119*(6), e2115329119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2115329119>
- IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. *IPBES* <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Kossack, A., & Bogner, F. X. (2012). How does a one-day environmental education programme support individual connectedness with nature? *Journal of Biological Education*, *46*(3), 180–187. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.634016>
- Laber, C. (2022). Gamification: Spielend einfach lernen. *Wirtschaftsinformatik & Management*, *14*(4), 235–237. <https://doi.org/10.1365/s35764-022-00414-6>
- Liefländer, A. K., Fröhlich, G., Bogner, F. X., & Schultz, P. W. (2013). Promoting connectedness with nature through environmental education. *Environmental Education Research*, *19*(3), 370–384. <https://doi.org/10.1080/13504622.2012.697545>
- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., Ciais, P., & Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, *455*(7210), 213–215. <https://doi.org/10.1038/nature07276>
- NGSS Lead States. 2013. Next Generation Science Standards: For States, By States. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, *29*, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
- Spies, T. A. (2004). Ecological concepts and diversity of old-growth forests. *Journal of forestry*, *102*(3), 14–20.
- 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147802>
- Wirth, C., Messier, C., Bergeron, Y., Frank, D., & Fankhänel, A. (2009). Old-growth forest definitions: A pragmatic view. In C. Wirth, G. Gleixner, & M. Heimann (Eds.), *Old-growth forest definitions: A pragmatic view* (pp. 11–33). Springer Berlin Heidelberg.

JULIANE FLEISSNER-MARTIN (juliane.fleissner-martin@uni-bayreuth.de) is a PhD student in the Department of Biology and Chemistry Education, Z-MNU (Centre of Math & Science Education), University of Bayreuth, Bayreuth, Germany, where FRANZ X. BOGNER (franz.bogner@uni-bayreuth.de) is Emeritus Chair of Biology Education and Director of Z-MNU.



LabXchange

Transform Your Biology Class!

Explore a FREE and accessible library of interactive teaching resources.

- 20,000+ resources in one place
- Virtual lab simulations, interactives, videos, and more
- Custom lesson-building tools

Cell structure | Genetics | Molecular biology | Biotechnology | 20+ other biology topics

Explore our library!

AMGEN Foundation | HARVARD Online

5.4 Teilarbeit B

Forests

veröffentlicht: 4. September 2023

<https://doi.org/10.3390/f14091807>

Digital vs. Analog Learning—Two Content-Similar Interventions and Learning Outcomes

Juliane Fleissner-Martin, Jürgen Paul & Franz X. Bogner

Centre for Mathematics and Science Education (Z-MNU), Department of Biology and Chemistry Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth, Germany

Article

Digital vs. Analog Learning—Two Content-Similar Interventions and Learning Outcomes

 Juliane Fleissner-Martin ^{*}, Franz X. Bogner [†] and Jürgen Paul [†]

Centre for Mathematics and Science Education (Z-MNU), Department of Biology and Chemistry Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth, Germany; franz.bogner@uni-bayreuth.de (F.X.B.); juergen.paul@uni-bayreuth.de (J.P.)

* Correspondence: juliane.fleissner-martin@uni-bayreuth.de

Abstract: The digitization of classrooms has enormously changed teaching during the COVID-19 lockdowns. The rapid introduction of tablet classes subsequently raised questions about potential learning outputs, as only a few studies had produced quite contradicting outcomes. Consequently, our study was set up to monitor cognitive learning outcomes of conventional and digital teaching interventions by explicitly paying attention to short- and long-term knowledge retention rates. Both modules covered the very same classroom content in focusing on the curricular content of the forest ecosystem. Subjects were eighth-graders from seven Bavarian secondary schools (analog: $n = 74$; digital: $n = 225$). We analyzed the knowledge gained by applying a multiple-choice questionnaire (online, 25 items) in a pre–post-retention design. For the statistical analyses SPSS was used, and a Rasch analysis was based on the ACERQuest software (Version 2.1). The Rasch calibration of the ad hoc knowledge items assured solid scores ($Rel = 0.72$). Both interventions significantly increased knowledge (analog and digital: $p < 0.001$; Cohen’s d : $d_{analog} = 0.59$, $d_{digital} = 0.42$) compared to the pre-test scores. Even after 6–9 weeks, there was no significant drop in the acquired knowledge scores (analog: $p = 0.619$; digital: $p = 0.092$) compared to the immediate post-test observed. Furthermore, there was no significant difference between the knowledge levels reached after both interventions. The knowledge scores showed typical learning profiles of earlier studies including its consistency even after several weeks. Since no significant differences appeared for the knowledge gain of both groups, the kind of teaching seemingly does not originate any influence independent of participation in the digital or analog module. The same seems to be valid for notebook entry options.

Keywords: ecology education; eighth graders; inquiry-based learning; sustainability; forest ecology; digital learning; collaborative learning; learning stations



Citation: Fleissner-Martin, J.; Bogner, F.X.; Paul, J. Digital vs. Analog Learning—Two Content-Similar Interventions and Learning Outcomes. *Forests* **2023**, *14*, 1807. <https://doi.org/10.3390/f14091807>

Academic Editor: Luis Diaz-Balteiro

Received: 30 July 2023

Revised: 30 August 2023

Accepted: 31 August 2023

Published: 4 September 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Forests provide valuable resources such as timber, fuelwood, and food [1], thus, facing even more exploitation. If sustainable practices are not involved, the extraction of natural resources on a large scale for human consumption often leads to the degradation of forest ecosystems. These worldwide land-use activities are constantly reshaping the surface of our planet. The world’s growing human population is putting increasing pressure on forest ecosystems, making ecosystem services and biodiversity of forest ecosystems even more vulnerable to human exploitation [2].

This results in significant biodiversity loss, a trend likely to continue [3]. Forest exploitation also disturbs the capabilities of forest ecosystems to act as carbon sinks [4]. Nature conservation initiatives must primarily gain long-term knowledge to understand these ecosystems. The responsibility for future conservation or climate change decisions needs exceptional support from the next generation. Sufficient knowledge bases are required to provide a solid foundation for relevant decisions with the intent to increase individual awareness and change individual behavior. In 2015, the United Nations defined the 17 Sustainable Development Goals (SDGs). They consider sustainable development as concordant

with all involved relevant dimensions (economic, ecological, and social) and levels (global, national, regional, and local). The basis for them is the protection of ecosystems [5]. In order to reach these goals, appropriate educational programs are needed. Due to this relevance, the forest ecosystem has been included in the curriculum of all German schools [6–8]. To achieve the best possible learning results, a deep understanding of the effects of learning programs on cognitive achievement is required.

Educational programs are supposed to pass on relevant environmental knowledge [9]. Many classroom studies have shown such successful transfers, although the issue is a complex constructivist one, as knowledge construction demands active thinking by each learner and requires appropriate learning environments [10,11]. Constructivists claim learning is most successful through active hands-on activities [12]. Hands-on learning based on individual learning stations is seen as a suitable approach among many options to promote interest, motivation, and the ability to think critically about the environment [13]. Following this method of instruction, numerous educational initiatives in nature conservation have been demonstrated to be effective [14,15]. As learners work collaboratively in small peer groups at learning stations with self-instructional material, a teacher's role is modified to a mentor by indirectly impacting a student's learning process [16,17]. Studies have shown that these student-centered approaches may result in higher knowledge retention scores [18] or enhanced long-term learning [19]. Environmental education programs, particularly those emphasizing specific nature conservation aspects [20,21] or bird conservation [22], are reported to be successful when student-centered approaches are included.

In fact, studies of half-day and one-day interventions have shown long-term effectiveness, suggesting that a lengthy intervention is not always necessary for effective knowledge acquisition [23–25]. Especially with hands-on or cooperative focus, interventions consistently demonstrate significant positive effects on knowledge increase. Bogner [26] proved long-term effects even up to six months in week-long outreach intervention of a national park. Stern and colleagues [27] reported enhanced knowledge outcomes in a five-day program compared to a three-day program, both conducted in outreach facilities of a national park and reported consistent effects for up to three months. In a four-day environmental education program on water issues at an educational field center, Liefänder and colleagues [28] found increased environmental knowledge levels in all dimensions of the participants persisting over four weeks. Sellmann and Bogner [29] similarly observed a long-term knowledge gain for 10th graders participating in a one-day intervention on climate change. Within this context, it needs mentioning that one-day and half-day learning modules most commonly are implemented due to restrictive school schedules. However, multi-day learning opportunities are supposed to enable long-term learning and retention of knowledge even more effectively [30].

During lockdown enforcement during the COVID-19 pandemic, the digitalization of schools has progressed as alternatives disappeared dramatically. Digital tools suddenly had to substitute conventional classroom teaching, and tablet classes are no longer uncommon. Many teachers are still skeptical about this development, which is why questions about the learning success of digital instruction compared to traditional instruction have become increasingly urgent. However, the available studies are not conclusive in this regard.

Some studies highlight web-assisted teaching as superior to conventional classroom instruction. According to Benbunan-Fich and Hiltz [31], students when utilizing asynchronous web-based teaching tools (such as discussion boards) produced better final reports than face-to-face groups managed to achieve. Twigg [32] reported that online teaching tools have better test results compared to conventional teaching techniques. Similarly, Maki and colleagues' study [33] online versions originated better test results than identical face-to-face lectures. Furthermore, Connolly and colleagues [34] showed that online students consistently performed better than face-to-face students in a three-year quasi-experimental study of computer science students. One of the reasons for the better performance of the digital group in the studies might be that the students could repeatedly work through

the materials independently at their own pace. Sometimes (e.g., Maki [33]) interactive quizzes or other supplementary materials were also offered while they were not available to the lecture group. Some other studies, however, demonstrated conventional classrooms are more effective than online ones: According to Wang and Newlin [35] or Motarella and colleagues [36], for example, in-person lecture students scored higher on the final tests than those who solely took online courses. The reason why the traditional students outperformed could be attributed to the fact that they had the chance to engage in direct interactions and seek immediate help from the teacher, unlike the remote students. Lastly, a third group of researchers stated differences between the two teaching strategies as insignificant. Waschull [37], reported online course versions with nearly equal outcomes compared to face-to-face courses. Kemp and Grieve [38] claimed that academic performance might be equivalent to engaging in face-to-face and online activities. Fiedler and colleagues [39] described a botanical/agricultural online module as similarly effective in learning gains as an on-site outreach. Similarly, Botsch and Botsch [40] reported no significant differences for a (political) science class, whether web-based or a traditional lecture was provided. Although the use of digital technologies in learning is often attributed a major role in public discussion, Hattie's recent meta-study, based on 130,000 individual studies, shows only minor effects that can be directly attributed to digital media [41]. For instance, the lack of significant differences observed could potentially be attributed to the possibility that the disparities between digital and analog interventions may be minuscule. A case in point could be the demonstration of a text in both interventions—when the only difference is the format (physical and electronic). Finally, it should be noted that many of the available studies concerning the differences in learning outcomes of digital vs. traditional teaching use final course grades for evaluation instead of standardized tests. One issue is that there is inconsistency in how teachers assess declarative knowledge, procedural knowledge, motivation, and other factors when assigning grades. This can be influenced by factors such as participation in extra credit assignments or the personal preferences of each teacher [36].

With such conflicting findings from studies concerned with digital teaching versus traditional face-to-face learning environments, our study followed three objectives: First, to clarify whether our syllabus-conform interventions lead to increased knowledge; second, to what extent this differs after an exclusively digital intervention from an analog intervention of the same content; and third, to analyze potential differences in retention performance between the two types of interventions.

2. Materials and Methods

In total, 299 eighth graders (digital: $n = 225$; analog: $n = 74$) of the college preparatory secondary school level ('gymnasium') participated in our study. Schools from urban and rural areas across Bavaria were included. More detailed information cannot be given due to permit restrictions.

Teachers enrolled their classes in our learning module, and students/parents gave informed consent to participate. For feasibility reasons (provision of materials, etc.), participation in the analog (control, $n = 74$) or digital ($n = 225$) intervention was not drawn by class but by schools. All students completed anonymized digital questionnaires covering content knowledge of the forest ecosystem and conservation containing 25 multiple-choice items (Table 1). Questionnaires were applied thrice (Figure 1): the pre-test (T1) was completed up to two weeks before the learning module, the post-test (T2) immediately after the learning module, and the retention test (T3) about six to nine weeks later.

Both learning modules were designed as Edu Breakouts (=Escape Games for educational purposes) for approximately four lessons and were carried out in one run or two double lessons. They included the same content (Table 1) but were prepared differently—one version followed analog procedures, and the other digital ones.

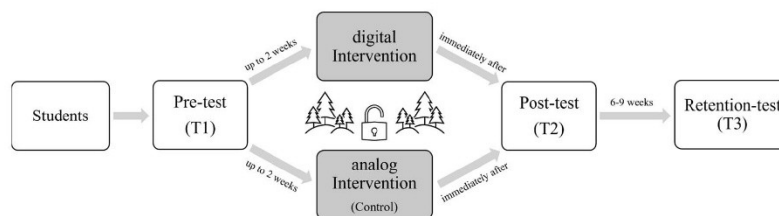


Figure 1. Study design including the timeframe of evaluation (T1, T2, T3; $N = 299$) for the digital ($n = 225$) and the analog group (control, $n = 74$).

Table 1. Subtopics and learning content of the learning modules.

Subtopic	Learning Content
The forest as an ecosystem	Students learn about biotic and abiotic environmental factors using the well-known example of the lake ecosystem and transferring them to the forest.
The layers of the forest	Students get to know the layers of the forest and conduct and evaluate an experiment on the water storage of the moss layer, followed by deepening exercises.
Species knowledge of forest trees	Students identify common forest tree species using a simplified identification key.
Succession and deadwood	Students learn about the process of succession and analyze diagrams and texts to evaluate measures for dealing with deadwood in forests.
Paper production and recycling	Students get an insight into paper production and resource requirements, recycling exercises, and evaluate common eco-labels related to their gain for nature.
The ecological footprint	Students calculate their ecological footprints using an online footprint calculator and evaluate behaviors related to its reduction.
Sustainability	Students learn about the three pillars of sustainability and clarify the terms “sustainable”, “climate neutral”, and “carbon neutral”.
Protective functions of the forest	Students work out the direct and indirect protective functions of forests.
Pollution in the forest	Students evaluate different behaviors in the forests related to their harmfulness and learn about the degradation time of various trash items to reflect on their behavior.

Both short-term programs were supposed to cover a syllabus teaching unit that students autonomously completed in self-assembled pairs or small groups guided by the teacher. In the end, potential difficulties during the learning approach were reflected in class.

The analog version was designed similarly to a typical station learning [19], in which each station addresses a specific subtopic according to Table 1, with a gamified character using almost exclusively analog materials. All nine stations shown in Table 1 were offered twice to ensure an efficient workflow and were accompanied by a workbook. All stations could be accomplished independently because they focus on different key aspects (Table 1). Among other things, students experimented independently and protocolled their results. They discussed and evaluated consumption decisions and behaviors in the forest with their group members regarding their harmfulness to the forest with the help of information texts and graphics. By solving those and other various inquiry-based tasks, the students worked out a code at each station to open a lock of the locked chest containing a small reward. Sample solutions to the students’ assignments were also available at the stations, ensuring that learning was self-directed [42] and self-controlled.

The digital version has an even more playful character than the analog version, as the students became part of an adventurous story. The students worked on tablets or computers and were guided through the story via various websites. The exercises are completed through learning games (e.g., assignments, puzzles, Hangman, etc.). However, practical tasks, such as experiments, are not possible. So, the results of the actual experiment

were presented on an interactive pinboard in combination with some H5P applications. Thus, the focus in the digital variant was more on the evaluation and not on the execution and logging of the experiment as in the analog version. Also, discussions with group members, as in the analog version, are not mandatory here since potentially each student can work on the tasks at their own pace on their devices as wished. To progress through the story, they had to correctly solve multiple tasks that unlocked codes to open doors or objects. In contrast to the analog version, no handwritten assignments and backups were included. Depending on the student's final decision, the story has a different ending that shows them the consequences of their decision as an epilogue.

We applied a simple Rasch model for dichotomous items over all testing points to analyze the quality of our knowledge scale using the ACERQuest program [43]. The Rasch calibration resulted in a hierarchy of the items in terms of their difficulty and of the persons in terms of the individual person's ability estimates, in our case, a measure of the person's knowledge. Both were calibrated to 0. Positive values indicate higher difficulty for items and higher knowledge for persons; negative values indicate low item difficulty for items and low knowledge for persons.

For our statistical analyses, we used SPSS (Version 29.0). A total of 299 cases (T1, T2, and T3) have been included to extract dependencies between knowledge and digital or analog learning materials, resp. For analysis, responses to the knowledge questionnaire were recoded as "1" for correct and "0" for incorrect. We used the maximum likelihood estimates as an individual person's ability estimates from our Rasch analysis for further calculations.

As a model for knowledge acquisition, we chose a general linear model (GLM) for repeated measures. We used the person's ability estimates ("knowledge") as the within-subjects factor and the intervention type (digital/analog) as the between-subjects factor with three factor levels (T1, T2, and T3). Then, Welch tests (unequal variance *t*-test) were performed between the knowledge score differences T2-T1, resp. T2-T3 to compare the knowledge changes of the two groups (digital/analog).

3. Results

3.1. Quality of the Instrument

The Rasch analysis using the ACERQuest program [43] scored solid values for our knowledge scale and a Wright map (item-person map, Appendix A: Figure A1), which depicts an individual's performance ("X") as a function of item difficulty [44] was created. Knowledge items are displayed in logits, which represent the ratio of the relative frequencies of correct and incorrect answers: Higher positive logit scores indicate more profound knowledge. The knowledge scores ranged from -2.33 to 3.60 logits and were roughly normally distributed ($M = 0.69$, $SD = 0.94$). According to the separation reliability index, the scale was quite accurate in distinguishing students ($Rel = 0.72$). Fit values reflect the degree of disparity between the Rasch model's predicted and actual students' responses. The Rasch model's predictions showed a good fit to the knowledge item responses, with infit mean square (MS) values ranging from 0.83 to 1.24 [45].

3.2. Knowledge Changes

The correct answers of the digital group to the knowledge items in the pre-test scored a logit mean of $0.54 (\pm 0.71)$, which significantly increased ($p < 0.001$) in the post-test to a mean of $0.88 (\pm 0.92)$. The knowledge decrease from the post- to retention test (0.79 ± 1.00) was insignificant ($p = 0.092$). The analog control group started at a significant ($p < 0.05$) lower level (T1: $M(SD) = 0.32 \pm 0.83$) compared to the digital group. This difference can also be observed when plotting the number of cases against the pre-test scores. Although both samples are approximately normally distributed, there is a slight shift to the left in the analog control group and to the right in the digital group (Figure 2). Nevertheless, the analog group also showed a significant knowledge improvement in the post-test to 0.80 ± 0.88 ($p < 0.001$). The differences between the post- and retention tests were

insignificant, as seen in the digital group ($p = 0.619$; T3: $M(SD) = 0.76 \pm 1.00$) (Figure 3). When comparing the pre-test and post-test, there was a medium effect ($d = 0.59$) for the analog version according to Cohen [46], and a weak effect ($d = 0.42$) for the digital version.

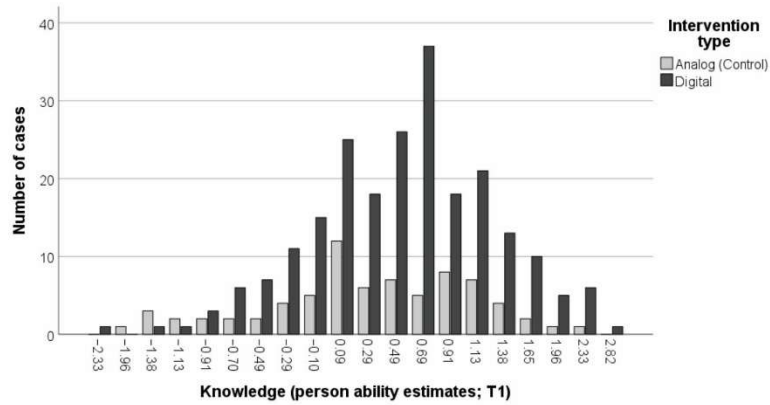


Figure 2. Distribution of the pre-test (T1) knowledge scores (person ability estimates based on 25 knowledge items) of the digital group ($n = 225$) and the analog control group ($n = 74$) as logits. Both samples are approximately normally distributed ($Z_{Skewness} = 0.91$; $Z_{Kurtosis} = 2.81$). Nevertheless, a slight shift of the analog control group to the left and of the digital group to the right can be observed.

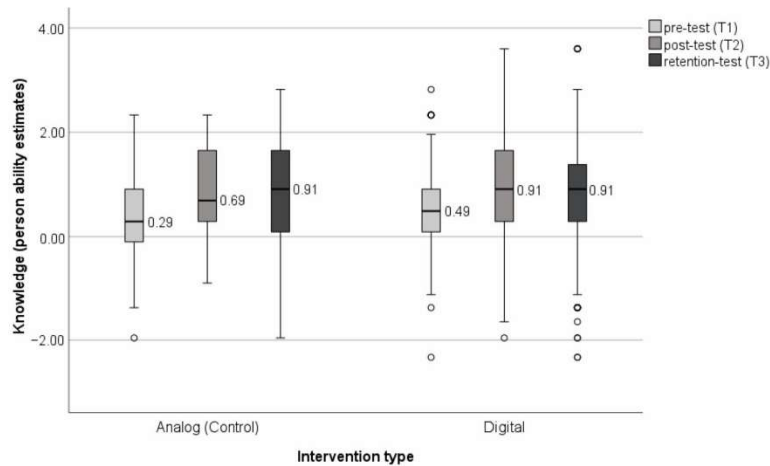


Figure 3. Boxplot of students' knowledge as individual person ability estimates with median scores of the digital group ($n = 225$) and the analog control group ($n = 74$) for all testing points. (T1: pre-test up to two weeks before intervention [Analog: $M(SD) = 0.32 (\pm 0.83)$; Digital: $M(SD) = 0.54 (\pm 0.71)$], T2: post-test right after the intervention [Analog: $M(SD) = 0.80 (\pm 0.88)$; Digital: $M(SD) = 0.88 (\pm 0.92)$], T3: retention-test (6–9 weeks after) [Analog: $M(SD) = 0.76 (\pm 1.00)$; Digital: $M(SD) = 0.79 (\pm 1.00)$]; $n = 299$).

Following the recommendation of Rasch et al. [47], we applied Welch tests instead of two-sample t -tests in order to avoid unknown risks of type-I and type-II errors as indicated by pretesting. Further, there are quite unequal variances of the samples ($n_{digital} = 225$,

$n_{analog} = 74$) which would lead to an unreliable Student's *t*-test according to Ruxton [48]. The performed Welch-tests between the knowledge score differences T2-T1 resp. T2-T3 comparing the knowledge gains between the two learning modules showed no significant differences (T2-T1: $t(303) = 1.178, p = 0.240$; T3-T2: $t(303) = 0.346, p = 0.729$; Table 2).

Table 2. Results of the performed Welch tests between the knowledge score differences T2-T1, resp T2-T3 of the two groups (digital intervention/analog intervention).

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i> (Two-Sided)
M_{analog} (T2-T1)	74	0.48	0.82	1.196	126.295	0.234
$M_{digital}$ (T2-T1)	231	0.35	0.84			
M_{analog} (T3-T2)	74	−0.04	0.75	0.353	127.304	0.725
$M_{digital}$ (T3-T2)	231	−0.08	0.78			

4. Discussion

4.1. Sustainable Long-Term Knowledge through Both Student-Centered Learning Modules

Since the effectiveness of many traditional teaching methods in promoting long-term learning and knowledge retention has been a subject of concern, establishing alternative strategies and techniques is supposed to enhance student's ability to retain knowledge over extended periods, such as (1) spaced learning and recurring learning opportunities, (2) retrieval practice, (3) multi-sensory learning, or (4) active learning. Our two learning modules focused on active learning. By actively participating in the learning process, students are supposed to enhance a deeper comprehension of the topic and retain knowledge for longer durations. Methodologies of active learning usually engage students in hands-on activities, collaborative working, group discussions, problem-solving exercises, inquiry-based learning, or interactive simulations.

We have tested our two learning modules regarding long-term learning and knowledge retention. As knowledge assessment is tailored by taught contents, a Rasch analysis needs to evaluate any (ad hoc) questionnaire's model fit. In our case, item difficulties and case logits were roughly normally distributed, and fit indices were within suitable ranges [44]. The same authors designated internal consistency scores such as ours as solid. As a result, the applied ad hoc knowledge questionnaire was shown to be suitable for the application of our learning module.

Both modules resulted in a significant increase in knowledge, which almost remained constant even after several weeks. The knowledge scores showed typical courses of earlier studies [49,50], which is a steep increase and slight dropdown after a time gap of 6 weeks. In consequence, students benefited from our learning module for the long term, i.e., even after six to nine weeks, although never back to pre-test levels. This aligns with earlier studies: Schmid and Bogner [51], for instance, demonstrated a significant knowledge persistence for a period of even 12 weeks following participation in an inquiry-based learning module. The students' learning due to inquiry-based teaching thereby appears to contribute significantly to the formation of long-term knowledge. Bogner [26] reported long-term effects after retesting knowledge levels even half a year after a week-long intervention in an outreach national park activity.

Our learning stations involved authentic content, which has been shown to increase students' interest, motivation, and critical thinking skills about local environmental issues [13]. This connection could have contributed to students' retention of newly acquired knowledge even several weeks later, as indicated by other studies. For instance, when comparing hands-on versus demonstrational teaching methods, Hartman et al. [52] described student engagement in hands-on activities as more successful in recalling abilities of newly acquired knowledge. These authors suggested that this may be due to the learning advantages of hands-on activities related to the multi-sensorial stimuli and the sense of accomplishment. Even more, Marth and Bogner [25] followed sixth-grade participants for

one school year, describing a consistency of knowledge levels after six weeks; thus, the six-week level is a good indication of long-term learning.

Furthermore, our learning stations comprised inquiry-based and problem-based learning. The objectives of problem-based learning encompass assisting students to develop (1) adaptable knowledge, (2) proficient problem-solving abilities, (3) self-guided learning skills, (4) adeptness in cooperative activities, and (5) intrinsic motivation [53]. Problem-based learning usually is regarded as an integrative part of any inquiry-based learning strategies, which is an important part of science education. In this context, the word “inquiry” implies three distinct perspectives: (a) Researchers conducting studies through scientific methods. (b) Students actively learning through inquiry tasks as scientists do. (c) Educators offering suitable learning settings and assistance. Regardless of the perspective, the process of inquiry includes fundamental elements like posing scientifically focused questions, drawing conclusions based on evidence, or assessing other possible interpretations [54]. Since all these perspectives and elements can coexist in experimentation, inquiry-based learning, and related research very often involve experimentation. Considering distinct levels of education, the process of experimentation is an intricate scientific framework that students will gradually grasp as they progress through their educational journey [55]. At school, experiments serve multiple purposes including inspiring students, validating hypotheses, and demonstrating concepts [56]. For this, the teacher usually knows the result of the experiment, whereas the outcome of a research experiment is uncertain. We, therefore, distinguish the typical “school experiment”, where concrete instructions are given and the outcome is known, from the “research experiment”, which is a component of the scientific process. Nevertheless, the crucial factor in classroom teaching is whether the teacher has conveyed to students the expected outcome. Depending on the instruction given, the various levels of inquiry differ, e.g., structured, guided, open, or authentic inquiry [57,58]. The more steps of scientific knowledge acquisition are carried out by the students themselves, the more authentic the inquiry is. Considering the perspective of a teacher who implements inquiry-based learning, a significant hurdle is creating an environment in which students can thrive and effectively develop essential inquiry skills [59,60]. Five of our learning stations include guided or open inquiries and thus integrate inquiry-based learning as an active learning technique contributing to long-term learning and knowledge retention.

As in our case, cooperative learning modules enabled cognitive achievement and provided consistency with previous research [61]. Especially for complicated and abstract topics, student hands-on activities are associated with promoting effective learning through high cognitive activity [12], which may support a sustainable long-term knowledge level. For instance, experiments, simulations, and project-based learning may help students apply theoretical concepts and improve problem-solving abilities in STEM subjects [62]. Learning activities, such as learning stations with authentic materials, are considered beneficial for knowledge acquisition. Nevertheless, students performing tasks groupwise on tablets gained similar knowledge as during the hands-on learning activities. In consequence, hands-on learning activities do not seem the only essential triggers for efficient knowledge acquisition.

According to the body of literature, student-centered learning strategies may be more successful than teacher-centered ones, although the success of a given strategy relies on several different aspects. Learning approaches oriented on students’ needs and interests promote cooperation and active engagement [63]. They enable students to take charge of their learning path, investigate original ideas, and improve their individual critical thinking abilities. For instance, Sturm and Bogner (2008) described student-centered approaches as far more effective than teacher-centered ones. Although retesting six to nine weeks after the intervention may involve logistical challenges, retention tests are essential since they indicate significant long-term learning progress in short-term interventions. The significant long-term knowledge gain originates most likely in our inquiry-based and student-centered approaches. This aligns with previous research on environmental

conservation programs [20,22]. Randler and Hulde [64], for instance, found that students participating in hands-on experiments on soil ecology acquired higher knowledge scores than their teacher-centered counterparts four weeks after the program. Those studies demonstrate student-centered learning approaches as better improving academic performance and student engagement, even increasing motivation, and enabling better retention of information compared to traditional teacher-centered approaches. However, this may not be true for all learners since some prefer a more structured and directive learning environment [65,66]. In the end, a multitude of elements, such as subject matters, individual learning styles, teaching styles, and available resources, may contribute to effective learning techniques. The best strategy to encourage learning in a range of circumstances may be therefore a combination of student-centered and teacher-centered techniques.

4.2. Differences in Knowledge Acquisition between the Digital and the Analog Intervention

Although both our modules originated a significant and constant increase in knowledge, the pre-test difference between both subsamples was striking. This may originate in different levels of prior instructions at the respective schools. As already mentioned in the Materials and Methods section, the student's participation in the analog or digital intervention was for feasibility reasons (e.g., provision of materials, organization), not drawn by class but by schools. Therefore, the differences in students' prior knowledge may be due to differences in teachers' or school community's emphasis on sustainability and ecological contexts. These differences within the school communities could have contributed to deviating sample scores in prior knowledge. Schools actively involving nearby communities in environmental initiatives may provide students with practical experiences and applications in the real world. Collaborations with community projects, environmental organizations, or experts may accordingly enhance students' prior knowledge in these sectors [67,68]. However, those differences in prior knowledge could have also arisen from family, neighborhood, or peer backgrounds. Such out-of-school factors include differences in skill development during non-school hours, when children from socially advantaged families benefit from a cognitively stimulating home environment that, among other variables, also provides the means for a consciously ecological lifestyle [69,70]. However, the prevailing social situation and the importance of an ecologically sustainable lifestyle might also differ from region to region contributing to prior knowledge levels [71,72]. As our study was limited to learning success and curricular integration, administrative approval did not include monitoring such variables.

Although our participants in the digital module started at a higher level, they only reached slightly higher post-test and retention levels compared to the control group. This might point to a ceiling effect, where participants already begin with very high knowledge scores. Consequently, participating in a learning module cannot yield substantial knowledge gains among these students anymore. According to Staus and colleagues [73], usually, no conclusions can be drawn regarding the influence of an intervention on students' learning outcomes when ceiling effects occur, which may lead to an underestimation of the intervention's positive effects. Nevertheless, a significant knowledge gain was observed for both groups by proving both modules as effective. However, it does not seem to influence the students' knowledge gain whether the content is exclusively prepared digitally or analogously. This aligns with the study of Fiedler and colleagues [39] which due to the COVID-19 lockdown was forced to alter a botanical and agricultural module to online instruction, which nevertheless produced similar results for both the outreach and the virtual application. Schönfelder and Bogner [74] reported no significant difference between on-site and online learning. However, Ahel and Lingenau [75] emphasized an asynchronous online learning process and its practical benefits: online interventions are more accessible and fit more flexibly into students' everyday schedules. Accordingly, our findings suggest that choosing between analog and digital interventions is unnecessary. Still, we are aware that digital and analog learning is a very complex topic and drawing conclusions from our data alone might oversimplify this very multifaceted issue. Nevertheless, our study does

provide some helpful insights. A variety of methods and media are superior to restricting individual ones. The use of different media and methods not only provides some variety in the lessons but also offers different ways of learning and prepares for the multimedia-based everyday working life. Smartphones or tablets are already part of student's daily life. There are both opportunities and challenges to implementing these gadgets in classes. Anshari and colleagues [76] highlight multitasks and multi-sources and point to its environmental friendliness while also pointing out everyday classroom challenges such as distraction potential, dependency, and a lack of hands-on skills.

Some teachers of our digital learning module were concerned whether their students would learn as much as their analog counterparts when they lacked hand-written assignments. In fact, studies suggest hand-written notes as supportive for learning in specific contexts: After comparing recall abilities and recognition of common words, Mangen and colleagues [77] concluded that when a person writes down words, it improves their memory compared to typing them. Mueller and Oppenheimer [78] described "laptop" students as less successful in lectures regarding comprehension, retention abilities, and conceptual understanding of the taught matter. However, in our case, such concerns were shown to be not relevant as our digital group gained similar learning scores compared to the analog control group. This similarity may be because the efficiency of handwriting depends on several variables, including the learner's preferences, the type of content being studied, and the learning environment. For several learning tasks, it may be more effective or convenient for some students to take notes using digital tools. Another potential reason may simply lie in the one and a half decade since that study, as students today may better have adapted to the digital world.

5. Conclusions

Both the digital and the analog learning modules improved knowledge levels which are quite in line with the body of literature. However, the lack of differences in the learning outcomes reached between our two groups does not follow common expectations. Our study focused on a comparison between one digital and one analog learning module. Although we have reduced the complexity of a multilayered and sophisticated topic, we cannot completely exclude the influence of specific side factors, such as differences between schools. Furthermore, due to COVID-19, we were limited in the number of participants for the analog learning module that we used as a control group. However, the obtained result, indicating an equal improvement in knowledge from both digital and analog learning modules, underscores the potential and the value of the diversity of educational approaches. It also highlights that modern digital implementations can be as effective as traditional analog methods in facilitating knowledge acquisition and vice versa. This finding has implications for educational design, as it enables educators to harness the benefits of both digital and analog tools to adapt to the possible learning environments of a specific location or to cater to a broader range of student's individual learning preferences and, therefore, enhance overall learning outcomes. As both implementations show similar potential, the inclusion of digital submodules may allow substantial enrichment of traditional programs (or vice versa), whatever might better fit into instructing intentions. Therefore, teachers can go for digital-only lessons without worrying about lower learning outcomes compared to conventional analog ones. This might be a welcome alternative while the students need training in media skills which they will desperately need for future professions. Nevertheless, as the literature body shows that a variety of methods and media is superior to conventional ones, no single method and medium are better per se: The variety and the reflected use are decisive.

Author Contributions: Conceptualization, J.F.-M.; methodology, J.F.-M.; software, J.F.-M.; validation, J.F.-M. and F.X.B.; formal analysis, J.F.-M.; investigation, J.F.-M.; resources, F.X.B.; data curation, J.F.-M.; writing—original draft preparation, J.F.-M.; writing—review and editing, F.X.B. and J.P.; visualization, J.F.-M.; supervision, F.X.B. and J.P.; funding acquisition, F.X.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The principal funding was granted by the Bavarian Ministry for Education, by the ERASMUS-EDU-2022-PEX-TEACH-ACA project SYNAPSES (N° 101102346), and by the University of Bayreuth. Further financial support was granted by the “Deutsche Forschungsgemeinschaft” (DFG, German Research Foundation; 491183248) and the Open Access Publishing Fund of the University of Bayreuth. Any opinions, findings, conclusions, or recommendations expressed in this material are those of the authors and do not necessarily reflect the position of the founding institutions.

Data Availability Statement: Data cannot be shared publicly because of the Bavarian Ministry for Education’s guidelines regarding data of underaged participants.

Acknowledgments: We are grateful to all students who participated in our study. Special thanks go to the teachers and school administrators involved for their patience and enthusiasm.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A

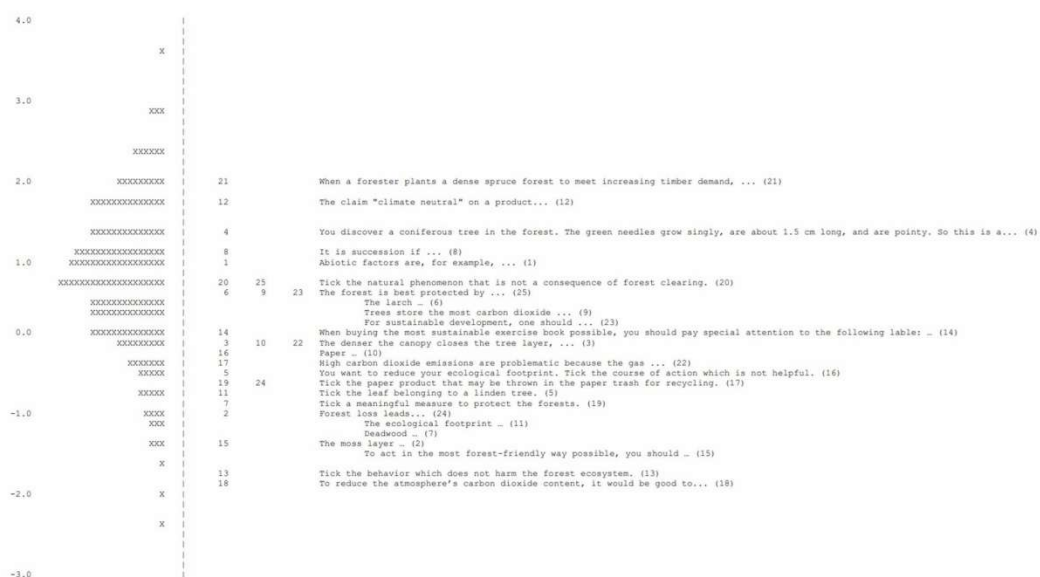


Figure A1. Wright map (item–person map) of the simple Rasch model analysis. The logit scale (left hand) indicates the measurement unit for the person’s performance (X) and the item difficulty (item code, right hand). Each “X” represents six students.

References

- Boucher, Y.; Arseneault, D.; Sirois, L.; Blais, L. Logging pattern and landscape changes over the last century at the boreal and deciduous forest transition in Eastern Canada. *Landsc. Ecol.* **2009**, *24*, 171–184. [CrossRef]
- Foley, J.A.; Defries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K.; et al. Global consequences of land use. *Science* **2005**, *309*, 570–574. [CrossRef]
- Díaz, S.; Fargione, J.; Chapin, F.S.; Tilman, D. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biol.* **2006**, *4*, e277. [CrossRef]
- Valentini, R.; Matteucci, G.; Dolman, A.J.; Schulze, E.D.; Rebmann, C.; Moors, E.J.; Granier, A.; Gross, P.; Jensen, N.O.; Pilegaard, K.; et al. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* **2000**, *404*, 861–865. [CrossRef]
- Willett, W.; Rockström, J.; Loken, B.; Springmann, M.; Lang, T.; Vermeulen, S.; Garnett, T.; Tilman, D.; DeClerck, F.; Wood, A.; et al. Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* **2019**, *393*, 447–492. [CrossRef]
- ISB. Fachlehrplan Biologie der 6. Jahrgangsstufe an Bayerischen Realschulen (LehrplanPLUS). Available online: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/realschule/6/biologie> (accessed on 4 May 2023).

7. ISB. Fachlehrplan Biologie der 8. Jahrgangsstufe an Bayerischen Gymnasien (LehrplanPLUS). Available online: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/8/biologie> (accessed on 24 March 2023).
8. ISB. Fachlehrplan Heimat-und Sachunterricht der 3./4. Jahrgangsstufe an Bayerischen Grundschulen (LehrplanPLUS). Available online: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/grundschule/3/hsu> (accessed on 4 May 2023).
9. Leeming, F.C.; Dwyer, W.O.; Porter, B.E.; Cobern, M.K. Outcome Research in Environmental Education: A Critical Review. *J. Environ. Educ.* **1993**, *24*, 8–21. [CrossRef]
10. Cakir, M. Constructivist Approaches to Learning in Science and Their Implications for Science Pedagogy: A Literature Review. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2007**, *3*, 192–206.
11. Roczen, N.; Kaiser, F.G.; Bogner, F.X.; Wilson, M. A Competence Model for Environmental Education. *Environ. Behav.* **2014**, *46*, 972–992. [CrossRef]
12. Mayer, R.E. Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *Am. Psychol.* **2004**, *59*, 14–19. [CrossRef]
13. Poudel, D.D.; Vincent, L.M.; Anzalone, C.; Huner, J.; Wollard, D.; Clement, T.; DeRamus, A.; Blakewood, G. Hands-On Activities and Challenge Tests in Agricultural and Environmental Education. *J. Environ. Educ.* **2005**, *36*, 10–22. [CrossRef]
14. Diesler, O.; Bogner, F.X. Young people's cognitive achievement as fostered by hands-on-centred environmental education. *Environ. Educ. Res.* **2016**, *22*, 943–957. [CrossRef]
15. Randler, C.; Bogner, F.X. Efficacy of Two Different Instructional Methods Involving Complex Ecological Content. *Int. J. Sci. Math. Educ.* **2009**, *7*, 315–337. [CrossRef]
16. Johnson, D.W.; Johnson, R.T. Making Cooperative Learning Work. *Theory Pract.* **1999**, *38*, 67–73. [CrossRef]
17. Settlage, J. Understanding the learning cycle: Influences on abilities to embrace the approach by preservice elementary school teachers. *Sci. Educ.* **2000**, *84*, 43–50. [CrossRef]
18. Felder, R.M.; Felder, G.N.; Dietz, E.J. A Longitudinal Study of Engineering Student Performance and Retention. V. Comparisons with traditionally-taught Students. *J. Eng. Educ.* **1998**, *87*, 469–480. [CrossRef]
19. Sturm, H.; Bogner, F.X. Student-oriented versus Teacher-centred: The effect of learning at workstations about birds and bird flight on cognitive achievement and motivation. *Int. J. Sci. Educ.* **2008**, *30*, 941–959. [CrossRef]
20. Randler, C.; Ilg, A.; Kern, J. Cognitive and Emotional Evaluation of an Amphibian Conservation Program for Elementary School Students. *J. Environ. Educ.* **2005**, *37*, 43–52. [CrossRef]
21. Schneiderhan-Opel, J.; Bogner, F.X. Cannot See the Forest for the Trees? Comparing Learning Outcomes of a Field Trip vs. a Classroom Approach. *Forests* **2021**, *12*, 1265. [CrossRef]
22. Bogner, F.X. Empirical evaluation of an educational conservation programme introduced in Swiss secondary schools. *Int. J. Sci. Educ.* **1999**, *21*, 1169–1185. [CrossRef]
23. Duerden, M.D.; Witt, P.A. The impact of direct and indirect experiences on the development of environmental knowledge, attitudes, and behavior. *J. Environ. Psychol.* **2010**, *30*, 379–392. [CrossRef]
24. Fremerey, C.; Bogner, F. Learning about Drinking Water: How Important are the Three Dimensions of Knowledge that Can Change Individual Behavior? *Educ. Sci.* **2014**, *4*, 213–228. [CrossRef]
25. Marth, M.; Bogner, F.X. How a Hands-on Bionics Lesson May Intervene with Science Motivation and Technology Interest. *Int. J. Learn. Teach. Educ. Res.* **2017**, *16*, 72–89.
26. Bogner, F.X. The Influence of Short-Term Outdoor Ecology Education on Long-Term Variables of Environmental Perspective. *J. Environ. Educ.* **1998**, *29*, 17–29. [CrossRef]
27. Stern, M.J.; Powell, R.B.; Ardoin, N.M. What Difference Does It Make? Assessing Outcomes From Participation in a Residential Environmental Education Program. *J. Environ. Educ.* **2008**, *39*, 31–43. [CrossRef]
28. Liefänder, A.K.; Bogner, F.X.; Kibbe, A.; Kaiser, F.G. Evaluating Environmental Knowledge Dimension Convergence to Assess Educational Programme Effectiveness. *Int. J. Sci. Educ.* **2015**, *37*, 684–702. [CrossRef]
29. Sellmann, D.; Bogner, F.X. Climate change education: Quantitatively assessing the impact of a botanical garden as an informal learning environment. *Environ. Educ. Res.* **2013**, *19*, 415–429. [CrossRef]
30. Cepeda, N.J.; Pashler, H.; Vul, E.; Wixted, J.T.; Rohrer, D. Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychol. Bull.* **2006**, *132*, 354–380. [CrossRef]
31. Benbunan-Fich, R.; Hiltz, S.R. Impacts of Asynchronous Learning Networks on Individual and Group Problem Solving: A Field Experiment. *Group Decis. Negot.* **1999**, *8*, 409–426. [CrossRef]
32. Twigg, C.A. Improving Quality and Reducing Cost: Designs for Effective Learning. *Chang. Mag. High. Learn.* **2003**, *35*, 22–29. [CrossRef]
33. Maki, R.H.; Maki, W.S.; Patterson, M.; Whittaker, P.D. Evaluation of a Web-based introductory psychology course: I. Learning and satisfaction in on-line versus lecture courses. *J. Psychon. Soc.* **2000**, *32*, 230–239. [CrossRef]
34. Connolly, T.M.; MacArthur, E.; Stansfield, M.; McLellan, E. A quasi-experimental study of three online learning courses in computing. *Comput. Educ.* **2007**, *49*, 345–359. [CrossRef]
35. Wang, A.Y.; Newlin, M.H. Characteristics of students who enroll and succeed in psychology Web-based classes. *J. Educ. Psychol.* **2000**, *92*, 137–143. [CrossRef]
36. Mottarella, K.; Fritzsche, B.; Parrish, T. Who learns more? Achievement scores following web-based versus classroom instruction in psychology courses. *Psychol. Learn. Teach.* **2004**, *4*, 51–54. [CrossRef]

37. Waschull, S.B. The Online Delivery of Psychology Courses: Attrition, Performance, and Evaluation. *Teach. Psychol.* **2001**, *28*, 143–147. [CrossRef]
38. Kemp, N.; Grieve, R. Face-to-face or face-to-screen? Undergraduates' opinions and test performance in classroom vs. online learning. *Front. Psychol.* **2014**, *5*, 1278. [CrossRef]
39. Fiedler, S.T.; Heyne, T.; Bogner, F.X. COVID-19 and lockdown schooling: How digital learning environments influence semantic structures and sustainability knowledge. *Discov. Sustain.* **2021**, *2*, 32. [CrossRef]
40. Botsch, C.S.; Botsch, R.E. Audiences and Outcomes in Online and Traditional American Government Classes: A Comparative Two-Year Case Study. *APSC* **2001**, *34*, 135–141. [CrossRef]
41. Hattie, J. *Visible Learning: The Sequel*; Routledge: London, UK, 2023; ISBN 9781003380542.
42. Hannafin, M.; Land, S.; Oliver, K. Open Learning Environments: Foundations, methods, and models. In *A New Paradigm of Instructional Theory, Volume II. Instructional-Design Theories and Models*; Psychology Press: London, UK, 1999; p. 115.
43. Adams, R.J.; Khoo, S.-T. *Acer Quest: The Interactive Test Analysis System (Version 2.1)*; Australian Council for Educational Research: Camberwell, VIC, Australia, 1996.
44. Bond, T.G.; Fox, C.M. *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences*; Routledge: New York, NY, USA, 2007; ISBN 978-0-8058-5462-6.
45. Wright, B.D.; Linacre, J.M.; Gustafson, J.-E.; Martin-Lof, P. Reasonable mean-square fit values. *Rasch Meas. Trans.* **1994**, *8*, 370. Available online: <http://www.rasch.org/rmt/rmt83b.htm> (accessed on 25 March 2023).
46. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, USA, 1988; p. 82, ISBN 0-8058-0283-5.
47. Rasch, D.; Kubinger, K.D.; Moder, K. The two-sample *t* test: Pre-testing its assumptions does not pay off. *Stat. Pap.* **2011**, *52*, 219–231. [CrossRef]
48. Ruxton, G.D. The unequal variance *t*-test is an underused alternative to Student's *t*-test and the Mann–Whitney U test. *Behav. Ecol.* **2006**, *17*, 688–690. [CrossRef]
49. Goldschmidt, M.; Bogner, F.X. Learning about Genetic Engineering in an Outreach Laboratory: Influence of Motivation and Gender on Students' Cognitive Achievement. *Int. J. Sci. Educ. Part B* **2016**, *6*, 166–187. [CrossRef]
50. Schneiderhan-Opel, J.; Bogner, F.X. The Relation between Knowledge Acquisition and Environmental Values within the Scope of a Biodiversity Learning Module. *Sustainability* **2020**, *12*, 2036. [CrossRef]
51. Schmid, S.; Bogner, F. Does Inquiry-Learning Support Long-Term Retention of Knowledge? *Int. J. Learn. Teach. Educ. Res.* **2015**, *10*, 51–70.
52. Hartman, B.A.; Miller, B.K.; Nelson, D.L. The effects of hands-on occupation versus demonstration on children's recall memory. *Am. J. Occup. Ther.* **2000**, *54*, 477–483. [CrossRef] [PubMed]
53. Hmelo-Silver, C.E. Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educ. Psychol. Rev.* **2004**, *16*, 235–266. [CrossRef]
54. Minner, D.D.; Levy, A.J.; Century, J. Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *J. Res. Sci. Teach.* **2010**, *47*, 474–496. [CrossRef]
55. Paul, J.; Lederman, N.G.; Groß, J. Learning experimentation through science fairs. *Int. J. Sci. Educ.* **2016**, *38*, 2367–2387. [CrossRef]
56. Hart, C.; Mulhall, P.; Berry, A.; Loughran, J.; Gunstone, R. What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *J. Res. Sci. Teach.* **2000**, *37*, 655–675. [CrossRef]
57. Banchi, H.; Bell, R. The many levels of inquiry. *Sci. Child.* **2008**, *46*, 26–29.
58. Whitson, L.; Bretz, S.; Towns, M. Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *J. Coll. Sci. Teach.* **2008**, *37*, 52–58.
59. Shtulman, A.; Valcarcel, J. Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition* **2012**, *124*, 209–215. [CrossRef] [PubMed]
60. Sotirou, S.A.; Rodger, W.B.; Bogner, F.X. PATHWAYS—A Case of Large-Scale Implementation of Evidence-Based Practice in Scientific Inquiry-Based Science Education. *Int. J. High. Educ.* **2017**, *6*, 8. [CrossRef]
61. Lord, T.R. 101 Reasons for Using Cooperative Learning in Biology Teaching. *Am. Biol. Teach.* **2001**, *63*, 30–38. [CrossRef]
62. Mullis, I.V.S.; Martin, M.O.; Smith, T.A.; Garden, R.A.; Gregory, K.D.; Gonzalez, E.J.; Chrostowski, S.J.; O'Connor, K.M. *TIMSS: Trends in Mathematics and Science Study: Assessment Frameworks and Specifications 2003*, 2nd ed.; International Study Center, Lynch School of Education, Boston College: Chestnut Hill, MA, USA, 2003; ISBN 978-1-889938-30-1.
63. Deci, E.L.; Ryan, R.M. Self-determination theory: A macro-theory of human motivation, development, and health. *Can. Psychol./Psychol. Can.* **2008**, *49*, 182–185. [CrossRef]
64. Randler, C.; Hulde, M. Hands-on versus teacher-centred experiments in soil ecology. *Res. Sci. Technol. Educ.* **2007**, *25*, 329–338. [CrossRef]
65. Kinder, D.; Carnine, D. Direct instruction: What it is and what it is becoming. *J. Behav. Educ.* **1991**, *1*, 193–213. [CrossRef]
66. Kirschner, P.A.; Sweller, J.; Clark, R.E. Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educ. Psychol.* **2006**, *41*, 75–86. [CrossRef]
67. Kyburz-Graber, R. 50 years of environmental research from a European perspective. *J. Environ. Educ.* **2019**, *50*, 378–385. [CrossRef]
68. Tali Tal, R. Community-based environmental education—A case study of teacher–parent collaboration. *Environ. Educ. Res.* **2004**, *10*, 523–543. [CrossRef]

69. Alexander, K.L.; Entwisle, D.R.; Olson, L.S. Lasting Consequences of the Summer Learning Gap. *Am. Sociol. Rev.* **2007**, *72*, 167–180. [[CrossRef](#)]
70. Tran, N.A. The Relationship between Students' Connections to Out-of-School Experiences and Factors Associated with Science Learning. *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, *33*, 1625–1651. [[CrossRef](#)]
71. Baierl, T.-M.; Kaiser, F.G.; Bogner, F.X. The supportive role of environmental attitude for learning about environmental issues. *J. Environ. Psychol.* **2022**, *81*, 101799. [[CrossRef](#)]
72. Gifford, R.; Nilsson, A. Personal and social factors that influence pro-environmental concern and behaviour: A review. *Int. J. Psychol.* **2014**, *49*, 141–157. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
73. Staus, N.L.; O'Connell, K.; Storksdieck, M. Addressing the Ceiling Effect when Assessing STEM Out-of-School Time Experiences. *Front. Educ.* **2021**, *6*, 690431. [[CrossRef](#)]
74. Schönfelder, M.L.; Bogner, F.X. Two ways of acquiring environmental knowledge: By encountering living animals at a beehive and by observing bees via digital tools. *Int. J. Sci. Educ.* **2017**, *39*, 723–741. [[CrossRef](#)]
75. Ahel, O.; Linggenau, K. Opportunities and Challenges of Digitalization to Improve Access to Education for Sustainable Development in Higher Education. In *Universities as Living Labs for Sustainable Development*; Leal Filho, W., Salvia, A.L., Pretorius, R.W., Brandli, L.L., Manolas, E., Alves, F., Azeiteiro, U., Rogers, J., Shiel, C., Do Paco, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020; pp. 341–356, ISBN 978-3-030-15603-9.
76. Anshari, M.; Almunawar, M.N.; Shahrill, M.; Wicaksono, D.K.; Huda, M. Smartphones usage in the classrooms: Learning aid or interference? *Educ. Inf. Technol.* **2017**, *22*, 3063–3079. [[CrossRef](#)]
77. Mangen, A.; Anda, L.G.; Oxborough, G.H.; Brønnick, K. Handwriting versus keyboard writing: Effect on word recall. *J. Writ. Res.* **2015**, *7*, 227–247. [[CrossRef](#)]
78. Mueller, P.A.; Oppenheimer, D.M. The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychol. Sci.* **2014**, *25*, 1159–1168. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

5.5 Teilarbeit C

Research in Science Education

veröffentlicht: 30. Oktober 2024

<https://doi.org/10.1007/s11165-024-10211-3>

Creativity as Key Trigger to Cognitive Achievement: Effects of Digital and Analog Learning Interventions

Juliane Fleissner-Martin, Jürgen Paul & Franz X. Bogner

Centre for Mathematics and Science Education (Z-MNU), Department of Biology and Chemistry Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth, Germany



Creativity as Key Trigger to Cognitive Achievement: Effects of Digital and Analog Learning Interventions

Juliane Fleissner-Martin¹ · Jürgen Paul¹ · Franz X. Bogner¹

Accepted: 17 October 2024 / Published online: 30 October 2024
© The Author(s) 2024, corrected publication 2024

Abstract

This study analyses the coherent integration of creativity into science education modules for eighth-grade students to enhance competence development. The learning modules' content covered a basic ecological unit about forests, applied as digital or analog lesson. By utilizing the creativity subscales 'Act' and 'Flow' its analysis resulted in a clear factorial structure. Notably, higher levels of creativity were associated with increased cognitive learning achievements among students, irrespective of the instructional delivery method—be it analog or digital. Particularly, the 'Act' and 'Flow' dimensions exhibited a promising potential for augmenting learning outcomes in learner-centric, gamified modules. The mentoring role of teachers is supposed to promote a flow state and simultaneously to highlight the significance of autonomy in learning processes. Unexpectedly, there were no discernible gender differences. This research significantly contributes to our understanding of the interplay among creativity, learning success, and instructional modalities within the realm of science education.

Keywords Creativity · Gamification · Digital learning · Act · Flow · Cognitive achievement

Introduction

The promotion of creativity in classrooms, alongside other associated personality attributes, is increasingly coming into focus on competence development (e.g. in Germany, KMK, 2020). Creativity is considered as a facilitator for knowledge acquisition, application, and transfer, contributing to innovation and nurturing individual curiosity (Lewis, 2009). The integration of creativity into science instructions holds promise for a more enduring approach to managing knowledge acquisition during learning processes (Henriksen et al.,

✉ Juliane Fleissner-Martin
juliane.fleissner-martin@uni-bayreuth.de

¹ Centre for Mathematics and Science Education (Z-MNU), Department of Biology and Chemistry Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth, Germany

2016). Despite recommendations from authors such as Wyse and Ferrari (2015), who primarily advocated for creativity integration in arts-related disciplines, it is imperative to extend this integration to other pertinent subjects, such as science, to address its underrepresentation in curricula (Robinson, 2011). According to Conradty & Bogner, 2018, the STEAM (STEM & Arts) approach can enhance cognitive abilities that are transferable to various life domains, notably in scientific research, where it enables the reframing of issues and the generation of solutions through unforeseen insights (DeHaan, 2011).

Furthermore, when discussing the nature of science, creativity is seen as a key characteristic of scientists and scientific work (Khishfe & Lederman, 2007). It becomes evident that a standardized and conformity-oriented system does not contribute to making society more adaptable and diverse (Robinson, 2011).

Current students are growing up in a digitized world, where access to and confrontation with seemingly endless information and social media is omnipresent. Consequently, they demand rapid responses, social interaction, and experiential learning even within the school environment (Anastasiadis et al., 2018). As a result, enthusiasm for conventional teaching methods is increasingly limited among the young ones. Their concept of an effective learning environment differs significantly from the ones of previous generations. To meet these evolving needs of students, an increasing number of studies are exploring innovative, more motivating, and entertaining approaches, such as gamification or even game-based learning. While gamification incorporates playful elements into a learning setting, game-based learning goes further by integrating learning content into a gaming environment. However, the boundaries between these two approaches are fluid. Studies of Pozo-Sánchez and colleagues (2022) recommend the integration of gamification in education as supportive, for example, via methods such as Escape Rooms. This can potentially enhance understanding of educational content and, consequently, support academic achievement. It may also enhance a range of skills and foster creativity. Anastasiadis and colleagues (2018) name additional benefits of digital game-based learning, including its positive impact on cognitive development and digital literacy, social-emotional growth, the cultivation of soft skills, improved decision-making and problem-solving capabilities, as well as the promotion of critical thinking. Furthermore, it is supposed to create an improved environment for collaboration and communication, fosters a positive competitive atmosphere, boosts self-esteem and autonomy, enables progressive learning through experience, and provides a rewarding sense of progress and success (Anastasiadis et al., 2018). The integration with other learning methods, such as cooperative learning, problem-based learning, and project-based learning, could further elevate and enrich the overall learning experience for students.

Theoretical Background

We utilized the empirical instrument “Cognitive Processes Associated with Creativity,” abbreviated as CPAC (Miller & Dumford, 2016), a tool substantially refined by Conradty & Bogner, 2018 and initially applied in informal science education programs (Conradty & Bogner, 2019). Through this instrument, our aim is to quantitatively assess students’ creativity within science education environments, with particular emphasis on the “Act” and “Flow” subscales. “Act” involves taking deliberate steps or engaging in actions to manifest ideas or intentions. When someone acts, a process of “flow” can be initiated, where the

attention of the acting person becomes fully absorbed in the task, leading to a state of heightened focus and immersion (Csíkszentmihályi, 2000). This state of flow fosters “creativity”, as it allows for the uninhibited expression of ideas, the exploration of novel solutions, and the synthesis of new connections, ultimately leading to the generation of innovative outcomes. Therefore, the causal connection between “act,” “flow,” and “creativity” lies in the active engagement that catalyzes the flow state, which in turn nurtures and enhances creative thinking and expression (Csíkszentmihályi, 2000).

The theoretical background for the creativity approach is considered highly complex and challenging to define (Corazza, 2016; Plucker & Renzulli, 1999). For this study, we adopted the definition of creativity within the educational setting as delineated by Henriksen et al. (2016). They describe creativity as novel and effective, with a subtler component of wholeness. Their definition delves even deeper, incorporating “person,” “field,” and “domain” as crucial components, albeit individually insufficient. It is the interactions that give rise to a dynamic process, which they define as creativity. The increasing importance attributed to research on creativity underscores the acknowledgment of the essentiality of cultivating creative thinking in a competency-driven and forward-thinking society (Corazza, 2016). In today’s information-rich landscape, individuals are inundated with data on a regular basis, and the ability to effectively convert this information into knowledge demands a creative approach (Chua, 2015). Perry-Smith (2014) conceived a creativity-enhancing environment that could be adapted for use in science education. Social interaction and communication are crucial in fostering a diverse and imaginative work atmosphere, which, in turn, can promote creativity. As a result, creativity has the potential to promote innovation, which holds significant importance from both economic and social viewpoints (Perry-Smith, 2014). Creativity should therefore also contribute to generating solutions for the transformation of today’s societies towards sustainable systems, taking into account economic, social as well as ecological perspectives. Innovation entails the creation of effective and fresh solutions to challenges, necessitating creative problem-solving strategies (Aldous, 2007). Livingston (2010) argues that creativity is essential for developing content knowledge and skills within an inquiry-based culture that values investigation, collaboration, connection, integration, and synthesis, thereby enhancing problem-solving abilities for all students. In the context of 21st-century learning, creativity should be prioritized in education, as it prepares learners to navigate the unknown and adapt to new situations (Collard & Looney, 2014). Unfortunately, current educational policies and attempts to standardize the school system have inadvertently stifled creativity instead of fostering it (Kupers et al., 2018). As a result, educators must find ways to promote creativity, particularly in science classrooms, to ensure that graduates can meet the demands of a globalized and innovative economy (Henriksen et al., 2016). While creativity undoubtedly holds significance across various domains, the focus of this paper is primarily on its role within the field of science. Richards and Cotterall (2016) provide guidelines to assist teachers in establishing creativity within the classroom. Although collaborative learning approaches require diverse teaching techniques (Yager, 2000) and adequate teacher training to sustain creative processes in science (Sawyer, 2006), some researchers suggest that forced group work may hinder creative thinking (Csíkszentmihályi, 2000; Schmidt, 2011). Most importantly, extrinsic motivators, such as evaluating work or creating situations purely focused on exams, should be avoided. Despite being common practices in schools, they can have a detrimental effect on creative processes (Amabile, 1983; Baer, 1997).

Scholarly discourse frequently explores the topic of gender disparities in creative cognition within the context of science disciplines. Okere and Ndeke (2012) uncovered notable variances between genders pertaining to dimensions of scientific creativity such as flexibility, strategizing, and the discernment of relational patterns. On the contrary, a body of research identifies no substantial dichotomies linked to gender in broader measures of creative capacity (Charyton et al., 2011; Charyton & Snelbecker, 2007). One potential explanation for these varying outcomes might be the preference of males and females for scientific subjects rather than creativity per se (Roth et al., 2022b). Global educational trends observed in studies like the Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) support the notion of gender-related differences in scientific comprehension. Historically, male students have outperformed their female counterparts in many scientific areas and have shown a heightened inclination towards these subjects. Nevertheless, the TIMSS 2019 assessment revealed scenarios where female students outshined male students, particularly in experimental tasks that did not include explicit procedural guidance, as well as in a multitude of scientific fields that require robust argumentation and the practical implementation of theoretical knowledge (Mullis et al., 2020). These insights, should they be confirmed, suggest a potential linkage between creativity and intrinsic motivation. A deep-rooted passion for a specific discipline may indirectly influence one's capability for scientific reasoning and the capacity for creative thought. The diminishing gender gap identified in the TIMSS data suggests that previously observed gender-specific differences in creativity may be attributed to societal and cultural influences rather than inherent aptitudes. For instance, small gender differences favoring boys in science were noted in countries such as the USA, Hungary, Italy, and Singapore, whereas larger differences favoring girls were observed in Middle Eastern countries such as Saudi Arabia, Kuwait, Oman, and Bahrain. This lack of uniformity in gender differences in science achievement challenges the notion of large innate differences in quantitative reasoning, instead highlighting the influence of sociocultural factors. Considering the altered approach and heightened awareness, it might have become increasingly challenging to substantiate the gender differences that were consistently present in the 1970s and 1980s. Still, such disparity in findings suggests that the relationship between gender and creativity in scientific domains may be complex and warrants further investigation to understand underlying factors and potential influences.

The interplay of social background, working climate, and pedagogical experiences plays a crucial role in either promoting or inhibiting creative potential. Notably, a proclivity for perfectionism may engender an undue emphasis on attaining predefined goals, steering individuals toward rigid, ritualized methodologies aimed at circumventing errors (Grant et al., 2012). This may culminate in an atmosphere rife with anxiety, disenchantment, and an escalation of failings and recurrent setbacks (Grant et al., 2012) assigning fault for missteps is instrumental in averting such detrimental outcomes (Conradty & Bogner, 2018). It is vital to acknowledge that diverse factors may act as catalysts or barriers to creative thought (Conradty et al., 2020). For example, Sosa (2011) mentioned social distance, such as during the Covid-19 pandemic, as inhibiting creative expression. Conversely, the presence of a cohesive team dynamic may inadvertently encourage self-censorship or cause the suppression of innovative ideas due to apprehensions of deviating from the norm (Conradty & Bogner, 2018). Additionally, the dichotomy between work and leisure can also impact creativity; Csikszentmihályi (2000) posited that integrating playfulness into tasks might auspiciously precipitate the genesis of novel concepts.

Flow, recognized as an integral aspect of creativity, is identified as a hallmark of effective game design. Games are at their most engaging when they catalyze the state of flow, drawing the player into a realm of intense focus, deep enjoyment, and a sense of immersive engagement with the activity (Johnson & Wiles, 2003). However, it still needs to be questioned if this consequently applies to gamified learning. Silva et al. (2019) propose that gamified tools may bolster students' motivation and immersion, suggesting that gaming strategies could be a potent conduit for academic learning. Complementary evidence from another study posits that gamification enhances the experience of flow, which correlates with heightened enjoyment, motivation, and potentially augments cognitive learning outcomes (Silva et al., 2021). Moreover, the comprehensive analysis by Zainuddin et al. (2020) underscores that while gamification in pedagogy activates motivation, engagement, and social interaction, it also encounters specific challenges and obstacles. Research by Pozo-Sanchez et al. (2022) indicates that both virtual and in-person escape rooms deployed in higher education settings can stimulate fun, exploratory behavior, and creative thinking. Kuo et al. (2022) accentuate that escape rooms integrating both digital and physical elements can considerably uplift students' creative thinking and learning motivation, yet they do not appear to exert a significant effect on scientific academic performance.

Considering these factors, we have developed two gamified interventions – one entirely digital and one analog escape game (“EduBreakout”) – to examine the relationship between learning and creativity. The following questions are to be answered: (1) Is the shortened CPAC questionnaire suitable for use with 8th-grade students? (2) Are there gender-specific differences in creativity and its association with learning outcomes? (3) How do creativity and game-based learning impact learning success among students? (4) Are there differences between the digital and the analog intervention groups?

Materials and Methods

Research Sample

A total of 393 eighth-grade students participated in our study, all attending college preparatory secondary schools (“Gymnasium”) in Bavaria, Germany. Schools from both urban and rural areas were included. Enrollment occurred as teachers registered their classes for our instructional module, obtaining informed consent from students and parents. Due to logistical considerations, including the high material costs associated with the analog intervention and limited in-person instruction during the COVID-19 pandemic, the decision to participate in either the analog (control, $n=93$) or digital ($n=300$) learning module was randomly determined on a school-by-school basis without any knowledge about the students (e.g. social background, etc.). Additionally, our study primarily focused on the effects of the digital intervention, which is a common approach in scientific research where the control group is smaller than the experimental group. Consequently, the uneven sample sizes (analog, $n=93$; digital, $n=300$) were deemed appropriate for the aims of our study and the practical constraints we faced.

Test Design and Data Analysis

All students filled out digital questionnaires that were anonymized comprising 25 multiple-choice items to assess their knowledge of the forest ecosystem and conservation (e.g. “Abiotic factors are, for example, ...” with three distractors [...predators and concurrents.; ... minerals and food.; ... humans and industry.] and one correct answer [... water and light.]). The knowledge questionnaires were administered thrice: the pre-test (T1) up to two weeks before the learning module, the post-test (T2) immediately following the intervention, and the retention test (T3) approximately six to nine weeks later. Additionally, the shortened creativity scale, consisting of 12 items used in previous studies (Conradty & Bogner, 2018; Roth et al., 2022b), on a four-point Likert scale, was employed in conjunction with the knowledge pre-test.

Based on the two cognitive factors of the creativity scale described in the literature, we conducted a confirmatory factor analysis using SPSS (Version 29.0). After examining items, we constructed a corresponding structural equation model in AMOS. Using t-tests (equal variance t-test), we investigated the manifestation of the cognitive factors “Act” and “Flow” concerning gender differences. Finally, correlation analyses were employed to explore potential associations between the expressions of “Act” and “Flow” and the participants’ learning outcomes. Additionally, we examined potential differences in correlations between the two intervention groups in this regard using correlation analysis of the cognitive factors “Act” and “Flow” with the knowledge differences between pre- and retention tests. Previous to our calculation, we conducted a t-test with (using a bootstrapping procedure on the basis of 1000 repetitions and bias-corrected and accelerated [BCa] 95% confidence intervals) to validate the comparability of the two subsamples (digital and analog) on the knowledge pre-test.

The Learning Modules

The study involved two instructional modules, framed as “Edu Breakouts”—a pedagogical adaptation of escape games—designed to be completed over four lessons, which could be administered in either a single extended session or two double-lesson blocks. Although both modules presented the same content, about the forest ecosystem, human impact, and sustainability, they diverged in their preparatory processes: one was rooted in traditional, analog methods, while the other embraced a digital framework. These short-term interventions sought to encapsulate a complete teaching unit of the curriculum, encouraging students to engage autonomously in learning activities, either individually or in self-selected pairs or small groups. Throughout the modules, learners were poised to navigate any educational hurdles that emerged, with the teacher facilitating discussions to collectively overcome these obstacles.

The analog adaptation of the instructional module emulated a traditional station learning format, with each station dedicated to a distinct subtopic and characterized by a gamification element that was primarily executed using non-digital resources. To optimize the learning process, nine thematic stations were provided in duplicate. An accompanying workbook guided learners through the activities. As different stations addressed discrete conceptual dimensions, they were designed to be tackled independently of one another. The array of activities ranged from conducting experiments and documenting results to engaging in

discourse and appraisal of forest management choices. Through engaging in a series of inquiry-driven assignments, students decrypted codes at each station, which, upon successful completion, provided access to a chest bestowing a modest incentive. For the purpose of fostering autonomy in learning, stations were equipped with exemplar solutions to support self-guided and self-regulated progression through the tasks.

Conversely, the digital iteration of the module imbued the learning experience with an element of play by enveloping students in an adventure-themed narrative. Utilizing tablets or computers, participants embarked on a journey through a series of websites, each hosting diverse educational games that composed the substance of the exercises. While hands-on activities such as experiments were not practicable in this format, the findings of such experiments were dynamically illustrated using an interactive pinboard equipped with H5P applications. This digital pedagogical approach placed a stronger emphasis on the critical analysis and interpretation of data, as opposed to the hands-on conduct and meticulous recording of experiments. Moreover, group discourse was not mandated within this framework. Learners were empowered to progress at their individual pace, working through the narrative on personal devices. Advancement within the storyline necessitated the resolution of challenges that unlocked codes, which then permitted access to the next segment of the tale by opening virtual doors or revealing concealed items. Unlike its analog counterpart, the digital version did not contain any handwritten assignments or backups, and the conclusion of the story varied depending on the students' decisions. This included an epilogue that depicted the outcomes of their choices. Thus, the two interventions had the same topic, but used specific methodological advantages of digital or analog learning. For further information about the learning modules see Fleissner-Martin and Bogner (2024) or Fleissner-Martin, et al. (2023).

Results

Analysis of the Abbreviated CPAC Scale

Our confirmatory factor analyses (CFA) predominantly mirrored the anticipated constructs of the CPAC (Cognitive Processes Associated with Creativity) structure, as documented in the literature (e.g., Conradt & Bogner, 2018). However, not all observed variables sufficiently captured the latent constructs of “*act*” and “*flow*” in the shortened creativity scale. One item did not load on any of the two factors (refer to Table 1). Consequently, this item (“*I asked other people to help generate potential solutions to a problem.*”) was excluded from subsequent calculations. Similarly, the item “*While working on something, I try to generate as many ideas as possible.*”, which exhibited a cross-loading exceeding ± 0.3 , was also omitted. After removing these two items, a revised confirmatory factor analysis yielded five clearly assigned items for each of the two factors (see Table 1). The allocation of items aligns with the “*act*” and “*flow*” factors described in the literature (Conradt & Bogner, 2018, Miller & Dumford, 2016; Roth et al., 2022b). *Cronbach's alpha* (α) for the creativity scale yielded a value of 0.778, thereby confirming the scale's acceptability in terms of reliability as per the criteria established by Lienert and Raatz (1998). Additionally, the factor loadings delineated in the pattern matrix (Table 1) cumulatively resulted in a Kaiser-Meyer-

Table 1 Confirmatory factor analysis of the cognitive processes Associated with Creativity Scale (valid $N=393$)

Item	Components of the Revised Factor Analysis 10	
	1	2
When I am intensely working, I do not like to stop.	0.813	
I was fully immersed in my work on a problem or task.	0.606	
I lost track of time when intensely working.	0.656	
If I am intensely working, I am fully aware of “the big picture”.	0.585	
While working on something I enjoy, the work feels automatic and effortless.	0.502	
I incorporated a previously used solution in a new way.		0.794
I made a connection between a current problem or task and a related situation.		0.769
I joined together dissimilar concepts to create a novel idea.		0.628
Imagining potential solutions to a problem leads to new insights.		0.547
I looked at a problem or task from a different angle to find a solution.		0.546

Extraction method: Main component analysis

Rotation method: Oblimin with Kaiser normalization

a. The rotation is converged into 9 iterations

Total eigenvalue explained for 2 factors: 46.01%

Table shows factor loadings $> \pm 0.3$, Cronbach's alpha = 0.778

Olkin (*KMO*) measure of sampling adequacy of 0.844, signifying that the factors extracted are both reliable and distinct, in alignment with the standards set by Kaiser (1970).

We fitted a structural equation model to validate the abbreviated scale and its two primary constructs – “*act*” and “*flow*” – in alignment with previous investigations such as Conrady & Bogner, (2018). In addition, we incorporated learning success as manifest variables: “Sum scores Knowledge T1” and “Sum scores Knowledge T3”. The resultant Comparative Fit Index (*CFI*) of 0.954 and Tucker-Lewis Index (*TLI*) of 0.939 are deemed acceptable, given that the Root Mean Square Error of Approximation (*RMSEA*) is < 0.050 ($p=0.042$), indicating a favorable fit to the model. Additionally, a Standardized Root Mean Square Residual (*SRMR*) of 0.044 further signifies a satisfactory fit. However, the Chi-square statistic ($\chi^2=85.248$, $df=50$, $p=0.0014$) suggests a one-in-a-thousand occurrence, implying that the data does not entirely align with the model (Phakiti, 2018). The resulting structural equation model (see Fig. 1) illustrates that the observed variables almost equally contribute to characterizing the latent variables “*act*” and “*flow*,” as evident from their respective factor loadings. Consequently, the abbreviated scale appears largely suitable, albeit potential refinement for enhanced reliability may be warranted as a measuring instrument among eighth-grade students (see Fig. 1). All factor loadings, except for the items “While working on something I enjoy, the work feels automatic and effortless” and “I looked at a problem or task from a different angle to find a solution,” which were constrained at 1.000 and not estimated, demonstrate significance at $p \leq 0.001$.

Gender Differences

The Act scores were, on average, 0.06 higher among female participants (95%-CI [-0.40, 0.01]), and the Flow scores were also 0.20 higher compared to male participants (95%-CI

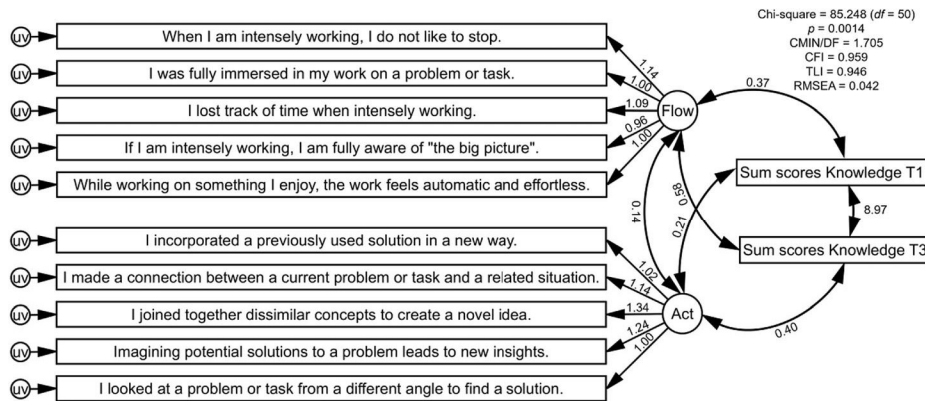


Fig. 1 Confirmatory factor analyses of the Cognitive Processes Associated with Creativity Scale with model fit indices (CMIN/DF=Chi-Square divided by the degrees of freedom, CFI=Comparative Fit Index, TLI=Tucker-Lewis Index, RMSEA=Root Mean Square Error of Approximation)

Table 2 Pearson correlations (*r*) of the Creativity Scale’s latent factors act and flow with gender

	Subsamples			Mean scores		t-Test		
	<i>N</i> (male)	<i>N</i> (female)	<i>N</i> (divers)	<i>M</i> (male)	<i>M</i> (female)	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Act	159	226	8	-0.04	0.01	-0.548	383	0.584
Flow	159	226	8	-0.11	0.08	-1.912	383	0.057

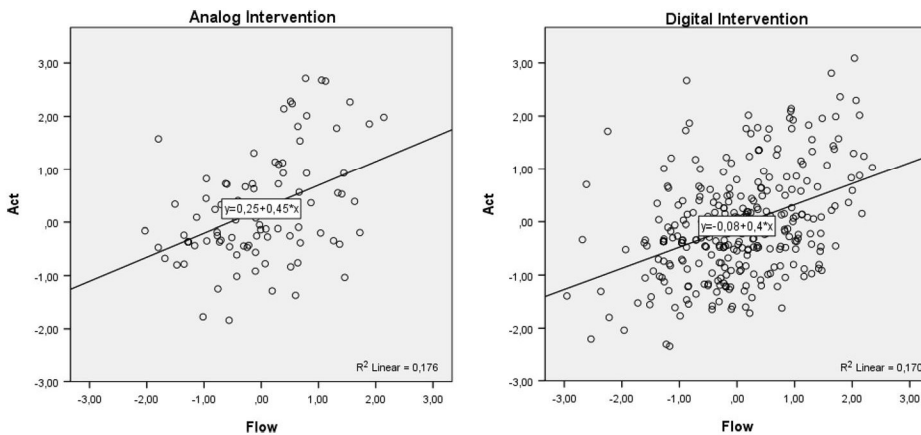


Fig. 2 Regression of the factors „Act“ and „Flow“ in the analog and digital subsample

[-0.26, 0.15]). However, there was no statistically significant difference between the Act and Flow scores of male and female participants as shown in Table 2. The students who identified as diverse in the survey were not included in the calculations. The lack of differences between genders suggests that gender might not have an influence on a person’s creativity and thus, on the manifestations of the subscales act and flow.

Table 3 Pearson correlations (r) of the Creativity Scale's latent factors act and flow with knowledge sum scores of the different testing points T1, T2 and T3 (Mean scores Analog: T1 = 14.20, T2 = 16.14, T3 = 15.88; Mean scores Digital: T1 = 14.80, T2 = 16.68, T3 = 15.85) of the analog and digital intervention. Note: *ns* = not significant

	Knowledge T1	Knowledge T2	Knowledge T3
Analog Intervention			
Act	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Flow	$r=0.238$ $p=0.021^*$ $N=93$	$r=0.275$ $p=0.018^*$ $N=74$	$r=0.347$ $p<0.001^{***}$ $N=93$
Digital Intervention			
Act	$r=0.143$ $p=0.013^*$ $N=300$	$r=0.182$ $p=0.006^{**}$ $N=231$	$r=0.158$ $p=0.006^{**}$ $N=300$
Flow	$r=0.177$ $p=0.002^{**}$ $N=300$	$r=0.200$ $p=0.002^{**}$ $N=231$	$r=0.212$ $p<0.001^{***}$ $N=300$

Note: *ns* = not significant

Digital vs. Analog Intervention

Before the correlation analysis, we conducted a t-test with bootstrapping (using a bootstrapping procedure with 1000 repetitions and bias-corrected and accelerated [BCa] 95% confidence intervals [CIs]) to validate the comparability of the two subsamples (digital and analog) on the knowledge pre-test. On average, participants of the digital intervention scored slightly higher on the knowledge pre-test ($M=14.80$, $SE=3.49$), than those of the analog intervention ($M=14.20$, $SE=3.74$). This difference of -0.60 points, with a BCa 95% confidence interval ranging from -1.53 to 0.17, was not statistically significant ($t(391)=-1.42$, $p=0.156$). Since this analysis did not reveal any significant differences and the variances appeared similar, we are confident in using this data for the further correlation analyses.

Significant differences emerge between the digital and analog instructional groups regarding the correlations between knowledge scores at different time points and cognitive factors (Table 3). First, in the digital group, the knowledge level at T3 exhibits a stronger positive correlation with T1 ($r=0.600$, $p<0.001$) compared to the analog group ($r=0.485$,

Table 4 Pearson correlations of the cognitive factors „Act“ and „Flow“ with knowledge differences of pre- and post-test, and pre- and retention test in both subsamples and correlation comparison using Fisher's z

	Analog Group	Digital Group	Fisher's z (1925)
r (Act x Diff_T2-T1)	0.067	0.083	$z = -0.1184$, $p=0.906$
p (Act x Diff_T2-T1)	0.855	0.069	
N	74	231	
r (Flow x Diff_T2-T1)	0.028	0.121	$z = -0.6886$, $p=0.491$
p (Flow x Diff_T2-T1)	0.815	0.066	
N	74	231	
r (Act x Diff_T3-T1)	0.164	0.058	$z=0.8928$, $p=0.372$
p (Act x Diff_T3-T1)	0.117	0.321	
N	93	300	
r (Flow x Diff_T3-T1)	0.142	0.092	$z=0.4214$, $p=0.673$
p (Flow x Diff_T3-T1)	0.174	0.113	
N	93	300	

r =Pearson correlation coefficient, p =statistical significance of the correlation coefficient, N =sample size

$p < 0.001$). This suggests that students' initial knowledge (T1) is more strongly associated with their retained knowledge after the learning module (T3) in the digital group. Second, significant correlations between knowledge at all testing points and the cognitive factor "Act" are evident in the digital group, whereas no such relationships exist in the analog group. Third, in the digital group, the "Flow" factor correlates highly significantly with all knowledge testing points, whereas in the analog group, correlations between "Flow" and T1 or T2 are only significant. "Flow" is therefore crucial in both groups but is particularly noticeable at the digital group.

Despite these differences, commonalities are observed in both groups. There are highly significant positive correlations between knowledge levels at different time points (T1 x T2: $r_{analog} = 0.545$, $r_{digital} = 0.527$; T1 x T3: $r_{analog} = 0.485$, $r_{digital} = 0.600$; T2 x T3: $r_{analog} = 0.545$, $r_{digital} = 0.692$). The correlation between T1 and T2 is similar for both groups suggesting that both analog and digital methods are effective in enhancing immediate knowledge acquisition. However, the digital group shows a stronger correlation between T2 and T3 compared to the analog group, indicating better retention of the acquired knowledge in the digital group. Therefore, while both analog and digital learning methods are effective in increasing knowledge immediately after the intervention, digital learning methods may provide better long-term retention. Furthermore, highly significant positive correlations between the cognitive factors "Act" and "Flow" are evident in both groups (Act x Flow: $r_{analog} = 0.420$, $r_{digital} = 0.412$, $p < 0.001$; Fig. 2). However, there are no significant differences between the digital and analog subsamples (Fisher's $z = 0.0804$, $p = 0.936$).

During the correlation analysis of the cognitive factors "Act" and "Flow" with the knowledge differences between pre- and retention tests, no significant correlations were observed within the subsamples, and no significant differences were identified between the correlations of the groups (Table 4).

Discussion

Usage of the Abbreviated CPAC Scale

In discussing the suitability of the shortened Cognitive Processes Associated with Creativity (CPAC) questionnaire for 8th-grade students, it is crucial to consider the implications of the findings regarding its generalizability and psychometric properties within this specific demographic. Notably, the successful application of the shortened CPAC questionnaire by Conradty & Bogner (2019) with German tenth graders at Bavarian high schools and by Conradty & Bogner (2019) with European participants aged 11–19 years highlights its versatility across different age groups. Furthermore, in alignment with the approach taken by Conradty & Bogner (2019) in their study, we excluded the item "I asked other people to help generate potential solutions to a problem," which may necessitate a modified phrasing in future research. Our findings support the assertion that the shortened CPAC questionnaire is suitable for use with 8th-grade students. However, further research is needed to establish its construct validity for this specific age group. Additional studies could further explore its correlation with other measures of creativity in 8th graders. In conclusion, the results suggest that the shortened CPAC questionnaire exhibits promise for widespread applicability across various grade levels and educational contexts. For future investigations, further

exploration of its validity and potential for adaptation to different age groups may be warranted to enhance its efficacy as a research instrument.

Gender Aspects

Building on the investigation into the suitability of the shortened CPAC questionnaire for 8th-grade students, the next research question to consider is: Are there gender-specific differences in creativity and its association with learning outcomes? This question delves into the potential variability in creative thinking abilities between male and female students and examines how these differences may impact their educational achievements. By exploring the interplay between gender, creativity, and academic performance, we aim to gain a deeper understanding of how these factors interact within the context of 8th-grade education. Our study did not identify any significant gender differences in creative thinking or its association with learning outcomes among 8th-grade students, which aligns with recent research trends (e.g. Roth et al., 2022b). In the study by Roth and colleagues (2022a), gender differences were observed only in the upper and lower age ranges of 10th graders. This led them to conclude that promoting individual creative endeavors might hold the solution. Already in 1996, Csikszentmihalyi postulated that it is not gender but rather a traditional gender-specific upbringing of boys and girls that determines their development. This cultural discrimination could be an explanation for the disparate results of previous international studies on gender differences in creativity (Conradty & Bogner, 2018). According to recent findings from the TIMSS study in 2019, however, this gender gap appears to be steadily decreasing (Mullis et al., 2020) - which would quite align with our results. This highlights the need for further research by comparing countries and age groups in conjunction with collecting sociocultural data to explore these nuances that might influence creativity development. Our findings suggest that focusing on individual student needs may be more productive than relying on potential stereotypical gender categories in educational practices.

Impact of Flow, Creativity, and Game-Based Learning on Learning Success

Our findings again highlight the potential of creativity to support individual learning success. We observed correlations of the cognitive factors „Act“ and „Flow“ with knowledge sum scores and knowledge differences (Tables 3 and 4). It therefore clearly appears that the more creative an individual is and consequently, the more pronounced their experience of “Act” and “Flow”, the higher their learning success tends to score. These results align with previous studies (Conradty & Bogner, 2018; Mierdel & Bogner, 2019; Roth et al., 2022a). Flow experiences are considered crucial for developing creativity, as they are typically accompanied by positive emotions (Csikszentmihályi, 2000). However, creating an environment conducive to flow requires special conditions, wherein the difficulty of tasks is balanced between challenging and accessible for students (Roth et al., 2022b). However, the perceived task difficulty varies from person to person. Since students frequently become fully absorbed in their tasks, a sense of complete security is another essential requirement for experiencing flow, which is also significant (Conradty & Bogner, 2018; Csikszentmihályi, 1996). This sense of security can be achieved in open learning environments that facilitate a high degree of self-regulation, presenting teachers not as instructors following fixed lesson plans but as mentors (Roth et al., 2022b). In their new role as mentors, teachers can

contribute to students' sense of security while encouraging them to explore individual learning and problem-solving approaches (Csikszentmihalyi, 1996). This can enhance motivation (Conradty & Bogner, 2016), creativity (Conradty & Bogner, 2018), and even learning success (Thuneberg et al., 2018). The more frequently learners experience flow, the stronger their self-efficacy becomes, further impacting motivation, persistence, and likelihood of success (Conradty & Bogner, 2024). In contrast, excessive rules and external incentives, such as exams or time pressure, hinder creative actions (Csikszentmihályi, 1975).

Although in our study we were able to ensure some of those essential factors, such as a more open and ungraded learning environment, it was challenging to entirely eliminate inhibitory factors, such as time pressure and specific rules inherent to the school framework. Even though students were informed that their work wouldn't be graded, the presence of regular teachers during the interventions might have created an implicit testing situation. Furthermore, the prospect of reward, not uncommon in analog Edu Breakouts (contents of the treasure chest), could have negatively impact the participants' creativity by potentially undermining their intrinsic motivation (Ryan & Deci, 2009). Participants of the digital intervention were not informed about the reward at the end of the intervention. This could be a possible explanation for the highly significant correlations between "Flow" and "Knowledge" measured at all test points in the digital group, while they were only significant in the analog group. A further explanation might be that students in the digital intervention could work alone at their own pace if they chose to, without being constantly interrupted by others during their learning flow. Liao (2006) found that student interactions did not correlate positively with flow experience, while the interaction between learners and instructors and between learners and the user interface showed positive correlations.

Flow and emotional engagement are known to significantly impact motivation, which in turn positively impacts academic success in a gamified online learning environment (Özhan & Kocadere, 2020). Similar findings were reported by Hsieh and colleagues (2016), who found that higher flow experiences in game-based learning were associated with higher learning performances in elementary school students. As both of our gamified learning modules lead to significant learning success, with flow positively correlating with students' learning success, we concur with these studies. Additionally, inquiry-based tasks, as implemented in our learning modules, can promote cognitive flexibility, support the development of creativity in students (DeHaan, 2011), and enhance students' learning success (Lazonder & Harmsen, 2016). Modern education, allowing autonomy and the free choice of learning paths in open educational environments has the potential to further promote creativity.

To further develop educational policies and practices, our findings therefore suggest and confirm that creativity should be strengthened in classroom teaching, particularly in science education. Some prominent key approaches to implementing creativity are: (1) Project-based learning that engages students in meaningful real-world projects making learning more creative and relevant for students (e.g. Hanif et al., 2019). (2) Critical thinking and problem-solving that empower students to analyze complex issues, evaluate multiple perspectives, and develop innovative solutions while deepening their understanding of subject matter (e.g. Birgili, 2015). (3) Hands-on experimentation in creative open inquiry settings that involves students actively participating in the scientific process of knowledge gain (e.g. Havu-Nuutinen et al., 2017). (4) Gamification and game-based learning with a course of play that paves the way for students to experience flow and self-directed action (e.g. Barata et al., 2013; Kalogiannakis et al., 2021). (5) Emphasis on the role of the teacher as mentor

and moderator, without ignoring that students also need guidance (e.g. Davies et al., 2014; Martins Gomes & McCauley, 2021).

Differences Between Digital and Analog Learning

Ultimately, this study aimed to investigate the extent to which creativity and the associated cognitive factors “Act” and “Flow” influenced learning success in digital and analog learning environments. As we tested creativity along with the knowledge pre-test, we regarded creativity as a kind of personality trait and did not intend to develop or change its extent. The correlation analysis revealed no significant differences in initial creativity levels between the digital and analog groups, suggesting comparable starting points regarding this factor. Still, we observed significant differences between the digital and analog instructional groups regarding the correlations between knowledge scores at different time points and cognitive factors “Act” and “Flow”. In the digital subsample, “Act” exhibited positive correlations with all knowledge testing points, while no such correlations were found in the analog subsample. It appears that a strong manifestation of “Act” among students in the analog group may not have significantly impacted their knowledge acquisition on the taught topic, whereas students with a strong manifestation of “Act” from the digital intervention seem to benefit slightly more. A possible explanation for this observation could be the unfamiliar nature of the activities in the analog intervention, resulting in their learning capacities being distributed and their focus being divided between the implementation of actions and knowledge acquisition. Conversely the digital learning environment utilized activities likely more familiar to the students as “digital natives”. Therefore, the factor “Act” may have contributed more to knowledge gain in this group. When examining the correlations of learning success with “Flow,” a different picture emerged. It is noticeable that in our study, the learning outcome seems more strongly associated with a student’s ability to achieve the “Flow” state than with the creativity factor “Act”. A strong manifestation of “Flow” consistently correlated significantly with knowledge scores in both groups, particularly for the retention test. A potential explanation might be that “Flow” and emotional engagement significantly impact motivation, which in turn positively impacts academic success as Özhan and Kocadere (2020) found in their study evaluating a gamified online learning environment. However, our results (Table 4) indicate that, regardless of the learning environment (digital or analog), in this study, no correlation was found between the creativity factors “Act” and “Flow” and the knowledge gains. It is possible that other, unmeasured factors may play a larger role in knowledge acquisition. Future research could explore these additional factors to gain a more comprehensive understanding of how learning environments influence knowledge gain.

Study Limitations

The generalizability of our findings is limited by the specific participant pool and by the application within COVID-time frame. Our study exclusively included eighth-grade students from the highest secondary school achievement level (“Gymnasium”) in Germany. The results may not be applicable to students from other types of schools, grade levels, or educational systems. Additionally, the uneven sample sizes between the analog ($n=93$) and digital ($n=300$) subsamples introduce potential biases and limit the generalizability of

comparisons between the two learning environments. Despite these limitations, our study offers valuable insights into the relationship between creativity, learning success, and flow experiences in an educational context. Future research could address these limitations (for instance its stimulus for educational policies) and further explore the interplay between creativity, learning environments (digital vs. analog), and learning outcomes, as well as gender differences. Examining the influence of additional factors, such as student motivation, learning styles, and teacher characteristics, on the relationship between creativity, flow, and learning success could also provide a more comprehensive understanding. By addressing these limitations and pursuing further research avenues, we can gain a deeper understanding of how to foster creativity and promote effective learning in both digital and analog educational settings.

Conclusion

Our findings suggest creativity as one acting force for learning success, regardless of the specific instructional method (digital or analog) employed. However, for creativity to flourish, learning environments needs specific design to facilitate the development of “Act” and “Flow” experiences among students. This precondition aligns with research suggesting that student autonomy and self-directed learning can enhance motivation and knowledge acquisition. Teachers can play a crucial role in fostering these conditions by transitioning from the role of instructor to that of a mentor, providing support and guidance when needed while allowing students greater ownership of their learning journeys. By minimizing external pressure, teachers can create space for students to achieve a state of “Flow,” which has been shown to positively intervene with learning outcomes.

Our study also suggests that gender-specific differences in creativity may be diminishing, supporting the notion of individualized instruction that caters to students’ unique needs and learning styles. Moving away from rigid, one-size-fits-all instructional approaches and embracing student autonomy can empower them to find their own learning paths. Playful learning environments, such as those incorporated in Edu Breakouts, can further enhance motivation and promote the development of interdisciplinary skills and creativity. Therefore, we encourage educators to explore gamified learning approaches as a potential tool to prepare students for the challenges of the 21st century by fostering creativity, critical thinking and mental flexibility.

Acknowledgements We are grateful to all the students who participated in our study, as well as to the teachers and school administrators for their invaluable cooperation and support. Our sincere appreciation goes to the Bavarian Ministry for Education and the University of Bayreuth for enabling and funding our research, which played a significant role in the successful completion of this project.

Author Contributions Conceptualization, Juliane Fleissner-Martin; methodology, Juliane Fleissner-Martin; software, Juliane Fleissner-Martin; validation, Juliane Fleissner-Martin and Franz X. Bogner; formal analysis, Juliane Fleissner-Martin; investigation Juliane Fleissner-Martin; resources, Franz X. Bogner; data curation, Juliane Fleissner-Martin; writing—original draft preparation, Juliane Fleissner-Martin; writing—review and editing, Franz X. Bogner and Jürgen Paul; visualization, Juliane Fleissner-Martin; supervision, Franz X. Bogner and Jürgen Paul; funding acquisition, Franz X. Bogner; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding Due to the guidelines of the Bavarian Ministry for Education regarding the data privacy of underage participants, the data cannot be shared publicly. This study was funded by the Bavarian Ministry for Education and the University of Bayreuth. The views expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent the opinions of the funding organizations.

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Declarations

Conflict of Interest All authors certify that they have no affiliations with or involvement in any organization or entity with any financial interest or non-financial interest in the subject matter or materials discussed in this manuscript. The authors have no competing interests to declare that are relevant to the content of this article. Neither are there any financial or proprietary interests in any material discussed in this article and declare that they have no conflict of interest.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Aldous, C. R. (2007). Creativity, problem solving and innovative science: Insights from history, cognitive psychology and neuroscience. *International Education Journal*, 8(2), 176–186, from <https://fac.flinders.edu.au/bitstream/2328/12207/1/2006007390.pdf>
- Amabile, T. M. (1983). The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(2), 357–376.
- Anastasiadis, T., Lampropoulos, G., & Siakas, K. (2018). Digital Game-based Learning and Serious games in Education. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 4(12), 139–144.
- Baer, J. (1997). Gender differences in the effects of anticipated evaluation on Creativity. *Creativity Research Journal*, 10(1), 25–31.
- Barata, G., Gama, S., Fonseca, M. J., & Gonçalves, D. (2013). Improving student creativity with gamification and virtual worlds. In *Proceedings of the First International Conference on Gameful Design, Research, and Applications* (pp. 95–98).
- Birgili, B. (2015). Creative and critical thinking skills in problem-based learning environments. *Journal of Gifted Education and Creativity*, 2(2), 71–80.
- Charyton, C., & Snelbecker, G. E. (2007). General, artistic and scientific Creativity attributes of Engineering and Music students. *Creativity Research Journal*, 19(2–3), 213–225.
- Charyton, C., Basham, K. M., & Elliott, J. O. (2011). Examining gender with General Creativity and Preferences for Creative Persons in College Students within the sciences and the arts. *The Journal of Creative Behavior*, 42(3), 216–222.
- Chua, R. Y. (2015). Innovating at Cultural crossroads: How multicultural Social networks promote idea Flow and Creativity. *Journal of Management*, 44(3), 1119–1146.
- Collard, P., & Looney, J. (2014). Nurturing Creativity in Education. *European Journal of Education*, 49(3), 348–364.
- Conrady, C., & Bogner, F. (2016). Hypertext or Textbook: Effects on Motivation and Gain in Knowledge. *Education Sciences*, 6(4), 29.
- Conrady, C., & Bogner, F. X. (2018). From STEM to STEAM: How to Monitor Creativity. *Creativity Research Journal*, 30(3), 233–240.
- Conrady, C., & Bogner, F. X. (2019). From STEM to STEAM: Cracking the Code? How Creativity & Motivation Interacts with Inquiry-based Learning. *Creativity Research Journal*, 31(3), 284–295.
- Conrady, C., Sotiriou, S. A., & Bogner, F. X. (2020). How Creativity in STEAM Modules Intervenes with Self-Efficacy and Motivation. *Education Sciences*, 10(3), 70.

- Conrady, C., & Bogner, F. X. (2024). Learning How to Flow: Paving the Way for Lifelong Learning. In K. K. Stavropoulos (Ed.), *Education and Human Development. Lifelong Learning - Education for the Future World*. IntechOpen.
- Corazza, G. E. (2016). Potential originality and effectiveness: The dynamic definition of Creativity. *Creativity Research Journal*, 28(3), 258–267.
- Csikszentmihályi, M. (1996). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. Harper Collins.
- Csikszentmihályi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety: Experiencing flow in work and play* (1st ed.). Jossey-Bass.
- Csikszentmihályi, M. (2000). *Beyond boredom and anxiety: Experiencing flow in work and play*. Jossey-Bass.
- Davies, D., Jindal-Snape, D., Digby, R., Howe, A., Collier, C., & Hay, P. (2014). The roles and development needs of teachers to promote creativity: A systematic review of literature. *Teaching and Teacher Education*, 41, 34–41.
- DeHaan, R. L. (2011). Science education. Teaching creative science thinking. *Science*, 334(6062), 1499–1500.
- Fleissner-Martin, J., Bogner, F. X., & Paul, J. (2023). Digital vs. Analog Learning—Two Content-Similar Interventions and Learning Outcomes. *Forests*, 14(9), 1807.
- Fleissner-Martin, J., & Bogner, F. X. (2024). Save the Forests!—Gamified Learning. *The American Biology Teacher*, 86(4), 193–200.
- Grant, A., Grant, G., & Gallate, J. (2012). *Who killed creativity: ... and how do we get it back*. Wiley.
- Hanif, S., Wijaya, A. F. C., & Winarno, N. (2019). Enhancing students' Creativity through STEM Project-based learning. *Journal of Science Learning*, 2(2), 50–57.
- Havu-Nuutinen, S., Sporea, D., & Sporea, A. (2017). Inquiry and creativity approaches in early-years science education. *Reforming teaching and teacher education* (pp. 89–116). Brill.
- Henriksen, D., Mishra, P., & Fisser, P. (2016). Infusing creativity and technology in 21st century education: A systemic view for change. *Educational Technology & Society*, 19, 27–37.
- Hsieh, Y. H., Lin, Y. C., & Hou, H. T. (2016). Exploring the role of flow experience, learning performance and potential behavior clusters in elementary students' game-based learning. *Interactive Learning Environments*, 24(1), 178–193.
- Johnson, D., & Wiles, J. (2003). Effective affective user interface design in games. *Ergonomics*, 46(13–14), 1332–1345.
- Kaiser, H. F. (1970). A second generation little jiffy. *Psychometrika*, 35(4), 401–415.
- Kalogiannakis, M., Papadakis, S., & Zourmpakis, A. I. (2021). Gamification in science education. A systematic review of the literature. *Education Sciences*, 11(1), 22.
- Khishfe, R., & Lederman, N. (2007). Relationship between instructional context and views of Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 29(8), 939–961. <https://doi.org/10.1080/09500690601110947>
- KMK (2020). Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife [educational standards in biology for the general university entrance qualification], from https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf
- Kuo, H. C., Pan, A. J., Lin, C. S., & Chang, C. Y. (2022). Let's escape! The impact of a Digital-Physical Combined escape room on students' creative thinking, learning motivation, and Science Academic Achievement. *Education Sciences*, 12(9), 615.
- Kupers, E., Lehmann-Wermser, A., McPherson, G., & van Geert, P. (2018). Children's Creativity: A theoretical Framework and systematic review. *Review of Educational Research*, 89(1), 93–124.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of Inquiry-based learning. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718.
- Lewis, T. (2009). Creativity in technology education: Providing children with glimpses of their inventive potential. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(3), 255–268.
- Liao, L. F. (2006). A Flow Theory Perspective on Learner Motivation and Behavior in Distance Education. *Distance Education*, 27(1), 45–62.
- Lienert, G. A., & Raatz, U. (1998). Testaufbau und Testanalyse (test setup and test analysis) (6. Aufl.). *Grundlagen Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Livingston, L. (2010). Teaching Creativity in Higher Education. *Arts Education Policy Review*, 111(2), 59–62.
- Martins Gomes, D., & McCauley, V. (2021). Creativity in science: A dilemma for informal and formal education. *Science Education*, 105(3), 498–520.
- Mierdel, J., & Bogner, F. X. (2019). Is creativity, hands-on modeling and cognitive learning gender-dependent? *Thinking Skills and Creativity*, 31, 91–102.
- Miller, A. L., & Dumford, A. D. (2016). Creative cognitive processes in Higher Education. *The Journal of Creative Behavior*, 50(4), 282–293.

- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., Kelly, D. L., & Fishbein, B. (2020). TIMSS 2019 International Results in Mathematics and Science. Retrieved from Boston College, from <https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/international-results/>
- Okere, M. I. O., & Ndeke, G. C. W. (2012). Influence of gender and knowledge on secondary School Students' Scientific Creativity skills in Nakuru District, Kenya. *European Journal of Educational Research*, 1(4), 353–366.
- Özhan, Ş. Ç., & Kocadere, S. A. (2020). The effects of Flow, Emotional Engagement, and motivation on success in a Gamified Online Learning Environment. *Journal of Educational Computing Research*, 57(8), 2006–2031.
- Perry-Smith, J. E. (2014). Social network ties beyond nonredundancy: An experimental investigation of the effect of knowledge content and tie strength on creativity. *The Journal of Applied Psychology*, 99(5), 831–846.
- Phakiti, A. (2018). Confirmatory factor analysis and structural equation modeling. In A. Phakiti, De P. Costa, L. Plonsky, & S. Starfield (Eds.), *The Palgrave handbook of applied linguistics research methodology*. Palgrave Macmillan.
- Plucker, J. A., & Renzulli, J. S. (1999). Psychometric approaches to the study of Human Creativity. In Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity (Cambridge)* (pp. 35–61). Cambridge University Press.
- Pozo-Sánchez, S., Lampropoulos, G., & López-Belmonte, J. (2022). Comparing Gamification models in Higher Education using face-to-face and virtual escape rooms. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 11(2), 307.
- Richards, J. C., & Cotterall, S. (2016). Exploring Creativity in Language Teaching. In R. H. Jones, & J. C. Richards (Eds.), *ESL & Applied Linguistics Professional series. Creativity in language teaching. Perspectives from research and practice* (pp. 97–113). Routledge.
- Robinson, K. (2011). *Out of our minds: Learning to be creative*. Capstone.
- Roth, T., Conradt, C., & Bogner, F. X. (2022a). The relevance of school self-concept and creativity for CLIL outreach learning. *Studies in Educational Evaluation*, 73, 101153.
- Roth, T., Conradt, C., & Bogner, F. X. (2022b). Testing Creativity and Personality to Explore Creative Potentials in the Science Classroom. *Research in Science Education*, 52(4), 1293–1312.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2009). Promoting self-determined school engagement: Motivation, learning, and well-being.
- Sawyer, R. K. (2006). *Explaining creativity: The science of human innovation*. Oxford University Press.
- Schmidt, A. L. (2011). Creativity in Science: Tensions between perception and practice. *Creative Education*, 2(5), 435–445.
- Silva, R., Rodrigues, R., & Leal, C. (2019). Play it again: How game-based learning improves flow in Accounting and Marketing education. *Accounting Education*, 28(5), 484–507.
- Silva, R., Rodrigues, R., & Leal, C. (2021). Games based learning in accounting education – which dimensions are the most relevant? *Accounting Education*, 30(2), 159–187.
- Sosa, M. E. (2011). Where do creative interactions come from? The role of Tie Content and Social Networks. *Organization Science*, 22(1), 1–21.
- Thuneberg, H. M., Salmi, H. S., & Bogner, F. X. (2018). How creativity, autonomy and visual reasoning contribute to cognitive learning in a STEAM hands-on inquiry-based math module. *Thinking Skills and Creativity*, 29, 153–160.
- Wyse, D., & Ferrari, A. (2015). Creativity and education: comparing the national curricula of the states of the European Union and the United Kingdom. *British Educational Research Journal*, 41(1), 30–47, from <http://www.jstor.org/stable/43297643>
- Yager, R. E. (2000). A vision for what Science Education should be like for the First 25 years of a New Millennium. *School Science and Mathematics*, 100(6), 327–341.
- Zainuddin, Z., Chu, S. K. W., Shujahat, M., & Perera, C. J. (2020). The impact of gamification on learning and instruction: A systematic review of empirical evidence. *Educational Research Review*, 30, 100326.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

5.6 Teilarbeit D

frontiers in Education

veröffentlicht: 17. März 2026

<https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1766028>

Unlocking green minds: role of attitudes in Edu-escape games

Juliane Fleissner-Martin, Tessa-Marie Baierl, Jürgen Paul & Franz X. Bogner

Centre for Mathematics and Science Education (Z-MNU), Department of Biology and Chemistry Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth, Germany



OPEN ACCESS

EDITED BY
 Irma Rahma Suwarna,
 Indonesia University of Education,
 Indonesia

REVIEWED BY
 Pooja Sahni,
 Indian Institute of Technology Delhi,
 India
 Matthew Bulbert,
 Oxford Brookes University,
 United Kingdom

*CORRESPONDENCE
 Juliane Fleissner-Martin
 ✉ juliane.fleissner-martin@
 uni-bayreuth.de

RECEIVED 11 December 2025
 REVISED 21 February 2026
 ACCEPTED 24 February 2026
 PUBLISHED 17 March 2026

CITATION
 Fleissner-Martin J, Baierl T-M, Paul J and
 Bogner FX (2026) Unlocking green
 minds: role of attitudes in Edu-escape
 games.
Front. Educ. 11:1766028.
 doi: 10.3389/educ.2026.1766028

COPYRIGHT
 © 2026 Fleissner-Martin, Baierl, Paul and
 Bogner. This is an open-access article
 distributed under the terms of the
 Creative Commons Attribution License
 (CC BY). The use, distribution or
 reproduction in other forums is
 permitted, provided the original
 author(s) and the copyright owner(s) are
 credited and that the original publication
 in this journal is cited, in accordance
 with accepted academic practice. No
 use, distribution or reproduction is
 permitted which does not comply with
 these terms.

Unlocking green minds: role of attitudes in Edu-escape games

Juliane Fleissner-Martin*, Tessa-Marie Baierl, Jürgen Paul and Franz X. Bogner

Centre for Mathematics and Science Education (Z-MNU), Department of Biology and Chemistry Education, University of Bayreuth, Bayreuth, Germany

Environmental challenges are integral to syllabi to promote pro-environmental behaviors. This study investigated the role of attitudes and their potential to be influenced through an in-class escape game on forest ecosystems and sustainability. The intervention aimed to offset the challenge of incorporating extensive outdoor activities into school life. We assessed 393 8th-graders' attitudes toward nature, environmental attitudes, and knowledge before, immediately after, and 6–9 weeks post-intervention. Stronger initial attitudes correlated with greater and retained knowledge gains. However, the intervention did not alter attitude scores, possibly due to its short duration (4 lessons) or indoor setting, as outdoor activities may better enhance "green" attitudes, aiding knowledge acquisition and nature protective behavior. While the in-class game could not replace outdoor activities in fostering green attitudes, it serves as a resource-efficient complement. Nevertheless, the crucial role of attitudes on learning found in our study might take us one step further to unlocking green minds.

KEYWORDS

attitude assessment with adolescents, attitude toward nature, cognitive learning, environmental attitude, escape game, inclusion of nature in self

1 Introduction

Environmental conservation initiatives play an important role in the syllabus, especially in the face of current environmental challenges such as climate change, biodiversity loss, and pollution. Addressing these challenges requires a comprehensive approach focusing on a deep understanding of and on appreciation for our natural environment so young people persistently engage in pro-environmental endeavors. The literature shows environmental knowledge as fundamental but typically insufficient to evoke persistent behavioral changes (Geiger et al., 2019). While many aspects, such as socioeconomic status (Franzen and Vogl, 2013) or perceived norms (Kollmuss and Agyeman, 2002), either assist or impede personal engagement, attitudes act as internal motivators in supporting learning about environmental issues and for pro-environmental engagement (see, e.g., Nisbet et al., 2008; Frantz and Mayer, 2014; Whitburn et al., 2020).

While there is evidence that attitude toward nature and environmental attitude are critical for pro-environmental engagement (see, e.g., Kesenheimer and Greitemeyer, 2021), we know little about both attitude's relationship in classroom settings and how they can be strengthened in typical syllabi sceneries. This is particularly true for attitude toward nature, as there is little research on adolescents (e.g., Barrera-Hernández et al., 2020; Cheng and Monroe, 2012), although school settings are the usual platforms to reach many people, and adolescence seems to be an important period for developing attitudes (Krettenauer, 2017). Much research on changes in attitudes toward nature has been based on relatively extensive outdoor activities,

such as multi-day residential environmental education programs, repeated field excursions over several weeks, or long-term project-based outdoor learning formats (for summary, see, e.g., Bogner and Wiseman, 2004; DeVille et al., 2021; Rosa and Collado, 2019; Hu and Mou, 2025). While such formats are undoubtedly effective, their regular implementation in everyday school life is not equally feasible across educational systems. In some countries (e.g., Nordic countries; Remmen and Iversen, 2023), regular outdoor schooling is structurally embedded, whereas in other contexts logistical constraints, curriculum pressure, safety regulations, limited access to natural environments, or organizational effort restrict the possibility of implementing longer-term or repeated outdoor programs (Oberle et al., 2021; Waite, 2020). Therefore, complementary classroom-based approaches that provide theoretical grounding and preparatory engagement with environmental topics remain relevant. In this regard, our self-guided escape game may serve either as preparation for out-of-school interventions or, where such interventions are not (yet) feasible, as a stand-alone in-class alternative.

Our research focused on learning more about promoting students' attitudes toward nature in school settings. This refers to attitude toward nature's role in learning and whether a student-centered in-class learning module could improve students' attitudes. While the positive effects of environmental attitude and environmental knowledge on environmental behavior are well documented (e.g., Liu et al., 2020; Kaiser et al., 2007) there is limited research on attitude toward nature on adolescents (see, e.g., Barrera-Hernández et al., 2020). Therefore, this paper aims to fill this gap in the literature by investigating the role of the attitude toward nature in learning, with a specific focus on its assessment in adolescents.

1.1 Environmental attitude's and attitude toward nature's roles in learning and pro-environmental engagement

Both—environmental attitude and attitude toward nature—are motivational drivers for persistent pro-environmental engagement (Taube and Vetter, 2019). Environmental attitude reflects people's propensity and commitment to engage in nature conservation or preservation (see, e.g., Kaiser et al., 2010; Kaiser et al., 2007). Attitude toward nature, on the other hand, reflects people's propensity to appreciate and enjoy nature, shown in contemplative outdoor activities such as stargazing, outdoor sports such as hiking, or other restorative activities in natural environments. In this regard, attitude toward nature is also labeled as people's relatedness with nature (Zelenski and Nisbet, 2014) or their environmental identity (Clayton, 2003), resonating with people's perceived interconnectedness with nature (Schultz, 2002).

If people appreciate nature, we would presume that they are more likely to care for it. Literature shows that the stronger a person's attitude toward nature, the more they engaged in pro-environmental behaviors (see, e.g., Frantz and Mayer, 2014; Markowitz et al., 2012; Whitburn et al., 2020). As such, we can expect people with positive attitudes toward nature to be more committed to its conservation and preservation, which would show in more positive environmental attitudes. A recent study pointed to a causal relationship between both attitudes: Environmental attitude indeed mediated attitude toward nature's effect on environmental knowledge levels (Baierl et al., 2024). It indicates that attitude toward nature is a predecessor of environmental attitude. The stronger a person's attitude toward nature, the stronger their environmental attitude, and the stronger we can expect

their knowledge about the environment and their pro-environmental engagement to be.

Attitude toward nature has been mostly assessed with adults, and there is some lack of research on adolescents (Barrera-Hernández et al., 2020; Cheng and Monroe, 2012). Studies with adolescents would, however, help derive teaching recommendations for better guidance toward living more environmentally friendly. This is particularly important as adolescence is a period of attitude consolidation, decisive for adult engagement, and classrooms platforms to reach many people (see Baierl et al., 2022). Therefore, deriving teaching recommendations for school classrooms would be valuable in guiding people toward living more sustainably.

1.2 Enhancing attitudes toward nature and environmental attitudes through educational approaches

Environmental education and Education for Sustainable Development play a role in cultivating learners' "dynamic qualities" (Posch, 1991, p. 11), enabling them to critically analyze, construct, and take action with a high level of autonomy and self-determination. Effective education equips learners with the skills to navigate uncertainty, ambiguous situations, and conflicting divergent norms, values, interests, and perspectives. Besides this foundation, it is important to consider how a positive attitude toward nature can significantly enhance learning and pro-environmental engagement. Numerous studies over the past years have shown that outdoor environmental education programs positively impact environmental knowledge and attitudes (e.g., Olivos et al., 2013; Liefänder et al., 2012; Schmitz and Rocha, 2018). Long-term outdoor engagement is, however, resource-intensive and challenging to align with regular school curricula. Therefore, it is reasonable to define supportive factors in a classroom setting. Educational escape games give some hope due to connecting interactive simulation activities with learning through puzzles and challenges.

Such educational escape games have gained popularity and been utilized as training resources for their interactive learning features. The game-based elements enhance students' learning motivation and problem-solving skills (Borrego et al., 2017; Huang et al., 2020). Other studies show that pro-environmental engagement can be promoted through action-oriented learning, e.g.: The opportunity to make decisions and act (digitally) within a simulation game allowed students to experience immediate feedback and self-efficacy, which supports pro-environmental behavior (Muenz et al., 2023). A study by Parker and Welch (2021) has shown that escape room exercises in simulations can decrease student anxiety and improve learning outcomes by enhancing teamwork, communication skills, and familiarity with simulation environments. Further, by implementing the tasks and contents into a captivating story, students can get emotionally involved, probably leading to better learning outcomes and triggering changes in their attitudes or behavior. Consequently, these benefits could make escape games a feasible addition in environmental education initiatives in relation to resource-intensive outdoor sessions and, consequently, for our study.

Building on this, we conceptualize the escape game as a structured learning environment in which specific design features activate distinct psychological and pedagogical mechanisms. Storyline and immersive representation can foster situational interest and affective engagement, thereby supporting intrinsic motivation and flow

experiences (Krath et al., 2021), while puzzles and feedback loops provide immediate performance information and scaffold competence development, both of which are central drivers of motivational and cognitive outcomes (De Freitas, 2018). Moreover, collaborative challenges and guided facilitation (e.g., structured briefing and debriefing) can promote relatedness, reflection, and the transfer of knowledge and attitudes to real-world sustainability contexts (Ahmadov et al., 2025; Freese and Lukosch, 2025), thus offering a theoretically grounded pathway from game mechanics to environmental attitude change and knowledge retention.

1.3 Research goals

Given attitude toward nature's presumed vital role in cognitive learning, we focused on its assessment, its role in learning, and on monitoring supporting factors. Related studies have been mostly concentrating on adult samples. However, as adolescence seems to be a period of attitude consolidation, schools have the potential to act as platforms to guide them toward a more environmentally friendly lifestyle. Based on the Campbell paradigm (Campbell, 1963) and prior findings suggesting that environmental attitudes are associated with learning-related variables, the present study pursued to answer the following research questions:

- 1 Does the Rasch-calibrated attitude instrument demonstrate satisfactory psychometric properties (e.g., model fit, reliability) within the present adolescent cohort?
- 2 Will the students with higher initial levels of attitude toward nature show higher cognitive learning outcomes in the intervention context?
- 3 Is the in-class intervention associated with a measurable change in attitude toward nature, consistent with the assumption that structured engagement can support attitudinal development?

By examining these questions, we aim to clarify the role of environmental attitudes in learning within feasible classroom-based interventions that may prepare for or compensate for extensive outdoor education.

2 Materials and methods

2.1 Participants and procedure

In this study, 393 8th-graders ($M_{\text{age}} \pm SD = 13.91 \pm 1.20$ years; 53.6% female; 43.5% male) from college preparatory secondary institutions ("Gymnasium") in Bavaria, Germany, participated. The cohort encompassed schools from diverse localities spanning metropolitan

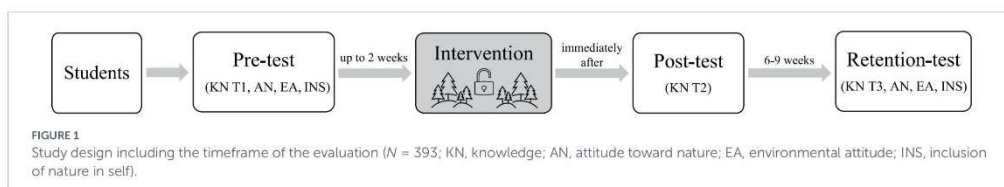
and rural regions. School heads and teachers decided to participate in the study, and legal guardians gave their written consent for student participation.

The educational modules were derived from escape games and implemented in four flexible instructional sessions, either as single blocks or across two double sessions. In collaborative, self-regulated learning groups of 3–4, students engaged in a variety of problem-solving tasks, including experiments, analyzing data and texts related to the forest ecosystem and sustainability issues in ways that the students had to integrate their knowledge and apply critical thinking skills. The educational content addressed topics such as understanding the forest as an ecosystem, its layers, species knowledge of forest trees, succession and deadwood, paper production and recycling, the individual ecological footprint, the three pillars model of sustainability, protective functions of the forest, and pollution issues. Progress through the modules required correctly completing tasks to unlock subsequent challenges, ensuring that all group members contributed actively to the learning process. Teachers monitored group dynamics and provided support when needed. The final reflection and discussion of the sessions encouraged students to connect their experiences with the ecological and sustainability concepts, fostering active learning, critical thinking and metacognitive skills (for further detailed information on the educational intervention, see Fleissner-Martin and Bogner, 2024).

2.2 Measures

The measures covered environmental knowledge, environmental attitude, attitude toward nature, and inclusion of nature in self. While environmental knowledge was assessed thrice, i.e., up to 2 weeks before the learning module (T1), immediately after the module (T2), and about 6–9 weeks after the module as a follow-up evaluation (T3), attitudes and inclusion of nature in self were assessed twice, i.e., before (T1) and 6–9 weeks after the learning module (T3) (see Figure 1). The retention test (T3) was conducted approximately 6–9 weeks after program completion, with the exact timing influenced by organizational constraints (e.g., school holidays). This slight variation in the follow-up interval may have attenuated detectable changes. While precise timing for each student was not available, future studies could include the number of days between T2 and T3 as a covariate to account for potential variability in follow-up duration.

All items were assessed through a digitized, anonymized questionnaire. Environmental knowledge comprised 25 multiple-choice queries with one correct option among three distractors, spanning ecosystem facts, eco-friendly behaviors, and the impact of various technologies (for more information on the items, see Fleissner-Martin et al., 2023). The items were analyzed using a dichotomous Rasch model (see Rasch, 1980), yielding knowledge scores between -2.33 and 3.60 logits ($M = 0.69$, $SD = 0.94$), where logits reflect the natural log odds of providing correct versus incorrect responses. Higher logits



indicate stronger knowledge levels. The scale demonstrated an adequate separation reliability ($rel. = 0.72$) and mean square values weighted by the item variance (MS_w) ranged from 0.83 to 1.24, suggesting a robust measure for differentiating individuals' environmental knowledge scores (see also Fleissner-Martin et al., 2023).

To measure environmental attitude, an individual's propensity to protect the environment, we employed 30 items (see Supplementary Table 1) originally derived from two established environmental attitude measures. This compilation of items has been previously validated in its current form by Baierl et al. (2022). The participants responded to these items using two response scales: a 5-point frequency scale ranging from 1, indicating "never," to 5, denoting "always," or a 5-point response pattern where 1 represented "strongly disagree" and 5 "strongly agree." 13 items were negatively formulated, signaling an absence of inclination toward environmental protection, and reverse-coded prior to analysis. The ACERQuest software (Adams and Khoo, 1996) was utilized to administer a basic Rasch model for binary items across all assessment periods, evaluating the integrity of the scale. Therefore, we had to convert all items into a dichotomous format. Answers corresponding to "never," "seldom," "occasionally," along with "strongly disagree," "disagree," or "neutral/unsure" denoted a diminished propensity for environmental conservation and were coded as 0. In contrast, "often," "always," as well as "agree" and "strongly agree" indicated a favorable disposition toward protecting the environment and were thus coded as 1. A notable separation reliability coefficient ($rel. = 0.78$) suggested that the scale reasonably distinguished between the participants. The fit indices, demonstrating the extent of congruence between the Rasch model prediction and empirical response pattern, yielded similarly satisfactory results with MS_w values ranging from 0.87 to 1.19 (Bond and Fox, 2007). Person scores (i.e., logits) ranged between -3.92 and 3.35 ($M = 0.03$; $SD = 0.95$). In this context, logits are understood as the natural logarithmic conversion of the ratio between environmentally protective responses and those that are not. Logit values carry a positive directionality, with higher positive values corresponding with a stronger environmental attitude (see Supplementary Figure 1).

Attitude toward nature was captured with 45 self-reported items (see Supplementary Table 2) related to using natural environments for restoration and recreation. Those items stem from Baierl et al. (2024), who had merged two established measurement tools (Brügger et al., 2011; Bogner and Wiseman, 2004) for a flexible item pool to assess attitude toward nature among adolescents. Within their modification, some items were adapted for broader use for instance, instead of "As a child, I spent time in the woods" it says "As a child, I spent time outdoors." All polytomous items were answered using a 5-point scale that measured frequency (1 = "never" to 5 = "always") or agreement (1 = "strongly disagree" to 5 = "strongly agree"). Dichotomous items required a straightforward "yes" (1) or "no" (0) response, with a "not applicable" option recorded as 0. The four negatively framed items were recalibrated in reverse for the analysis. To mitigate potential measurement error, polytomous items were again transformed into a dichotomous format, coding responses indicative of less engagement with nature (e.g., "never," "seldom," "occasionally," "strongly disagree," "disagree," "neutral/unsure") as 0 and more positive engagement (e.g., "often," "always," "agree," "strongly agree") as 1. We again used the dichotomous Rasch model, which revealed a good separation reliability coefficient ($rel. = 0.86$), evidencing suitable discrimination capability among subjects (see Supplementary Figure 2). Item fit indices were within an appropriate range, with MS_w values for item

variance between 0.83 and 1.16 (Bond and Fox, 2007). Person parameters (i.e., logits) ranged from -4.41 to 2.80 ($M = -0.57$; $SD = 1.02$).

Lastly, we employed the Inclusion of Nature in Self Scale developed by Schultz et al. (2002), a one-item scale to assess the participants' perceived connectedness with nature. The scale consists of seven sets of two approaching circles indicating the 'self' and 'nature'. The closer the circles or the stronger their overlap, the more connected the students perceived to be with nature, where 0 indicates little and 7 indicates a tight connection with nature.

3 Results

Our results are presented in three sections: We first tested the attitude toward nature measurement to assure its validity in our chosen age group. Secondly, we investigated attitude toward nature's and environmental attitude's roles in learning about the environment and sustainability-related behaviors. Third, we monitored the 4-h in-class educational intervention regarding its potential to affect attitude scores.

3.1 Calibrating attitude toward nature with adolescents

Calibrating the attitude toward nature pool for adolescents revealed good fit indices, i.e., a strong reliability score and overall good MS_w -values (see Measures, and for fit indices references, Bond and Fox, 2007). Based on those good fit indices and with up to four items capturing the same item difficulty, we were interested in a reduced item set that requires less time for students to complete. So, for more practicability (i.e., shorter questionnaires), we cut the 45-item pool to 25 items, so each behavioral cost is represented only once. The shortened version still revealed a fair reliability score ($rel. = 0.76$) with mean square values weighted by the item variance that fell between 0.88 and 1.12 ($M = 0.99$, $SD = 0.06$). Person parameters ranged from -3.91 to 3.08 logits, and item difficulties, i.e., behavioral costs, ranged from -2.42 to 2.18 logits. The logit person parameters of the original and abbreviated version showed strong correlations between the pre-test scores ($r = 0.943$, $p < 0.001$) and the retention scores ($r = 0.949$, $p < 0.001$), indicating that the abbreviated version did not compromise person score information (see Supplementary Table 2 for further fit indices comparing the original and abbreviated version).

3.2 Attitude toward nature's role in learning

The correlation pattern of both attitudes and inclusion of nature in self with the three knowledge test points is shown in Table 1. Note that the correlations of both attitudes with the students' pre- and retention knowledge scores were larger than those with post-program knowledge scores. The same was true for the inclusion of nature in self scale. Correspondingly, the correlation between attitudes and knowledge changes between the pre- and retention test was significant. At the same time, it was insignificant between the pre- and post-test or the post- and retention test. As such, the correlation of pre-knowledge scores with retention-knowledge scores was also higher than with post-program scores.

Additionally, the correlation between environmental attitude and attitude toward nature ($r = 0.473$, $p < 0.001$; see also Mayer and Frantz, 2004) and a tighter relationship between the inclusion of nature in self

TABLE 1. Correlations between attitudes (attitude toward nature and environmental attitude) and inclusion of nature in self (pre-test), and knowledge levels and gains regarding the three testing points, that is, before the educational intervention (pre-test, T1), right after program completion (post-test, T2), and 6–9 weeks after the intervention to test long-term changes (retention test, T3).

Construct	Correlation coefficient (<i>r</i>) and significance (<i>p</i>)		Environmental attitude	Attitude toward nature	Inclusion of Nature in Self	T1	T2	T3	Knowledge gain (T2–T1)	Knowledge gain (T3–T2)	Knowledge gain (T3–T1)
	<i>r</i>	<i>p</i>									
EA			/	0.473 <0.001	0.316 <0.001	0.407 <0.001	0.355 <0.001	0.433 <0.001	0.088 <i>n.s.</i>	0.109 <i>n.s.</i>	0.148 0.003
AN			/	/	0.470 <0.001	0.177 <0.001	0.219 <0.001	0.222 <0.001	0.124 0.031	0.009 <i>n.s.</i>	0.104 0.039
INS				/	/	0.243 <0.001	0.173 0.002	0.281 <0.001	0.021 <i>n.s.</i>	0.136 0.018	0.115 0.022
KN T1					/	/	0.551 <0.001	0.580 <0.001	–0.323 <0.001	0.088 <i>n.s.</i>	–0.217 <0.001
KN T2							/	0.706 <0.001	0.612 <0.001	–0.266 <0.001	0.343 <0.001
KN T3								/	0.269 <0.001	0.494 <0.001	0.669 <0.001

EA, Environmental attitude; AN, Attitude toward nature; INS, Inclusion of Nature in Self. Bold values indicate statistically significant correlations ($p < 0.05$).

scale and attitude toward nature ($r = 0.470, p < 0.001$) than with environmental attitude ($r = 0.316, p < 0.001$), speaks of the scale's validity.

In line with those correlations, the connection between attitude and knowledge scores became tighter in the retention test for environmental attitude ($r = 0.488, p < 0.001$) and with overall knowledge gains (between the pre- and retention test: $r = 0.262, p < 0.001$). The same pattern becomes apparent for attitude toward nature and knowledge scores in the retention test ($r = 0.259, p < 0.001$) and with overall knowledge gains (pre- and retention test: $r = 0.140, p < 0.001$), indicating a trend of stronger attitude scores aligning with knowledge gains and retains.

In the next step, regression analyses were applied to investigate both attitudes' effects on knowledge scores. Attitude toward nature [$F(1, 391) = 20.29, p < 0.001, R^2 = 0.05; \beta = 0.22$] and environmental attitude [$F(1, 391) = 90.40, p < 0.001, R^2 = 0.19; \beta = 0.43$] significantly impacted the knowledge scores student retained, though the effect of environmental attitude appears considerably stronger, which is in line with previous research (e.g., Baierl et al., 2022). Since we are particularly interested in attitude toward nature's role in learning, we further analyzed its effect on knowledge gains (i.e., retention scores minus pre-knowledge scores). The effect of attitude toward nature on knowledge gains [$F(1, 387) = 7.67, p = 0.006, R^2 = 0.02; \beta = 0.14$] is visualized in Figure 2.

Based on both attitudes' positive effect on either knowledge levels or gains and based on environmental attitude's indicated mediating effect (see Baierl et al., 2024), we conducted a mediation test in line with Baron and Kenny (1986) to learn more about their relationship in the learning process. As such, we first investigated attitude toward nature's effect on knowledge gains [Path c; $b = 0.08, 95\% \text{ CI } (0.01, 0.17), \beta = 0.10$]. We then looked at path a, which is attitude toward nature's impact on environmental attitude [$b = 0.41, 95\% \text{ CI } (0.34, 0.49), \beta = 0.47$], and path b, which is environmental attitude's effect on knowledge gains [$b = 0.13, 95\% \text{ CI } (0.02, 0.23), \beta = 0.13$]. Once we added the mediator, attitude toward nature's effect on knowledge gains turned insignificant [path c'; $b = 0.04, 95\% \text{ CI } (-0.06, 0.13), \beta = 0.04$] (see Figure 3).

3.3 Program effects on attitude toward nature and environmental attitude

Analyses of changes in attitude toward nature, environmental attitude, and inclusion of nature in self scores indicated a statistically significant decrease in attitude toward nature scores between the pre-test and the retention test, with a mean difference of -0.142 ($SD = 0.821, SEM = 0.042$), $t(387) = -3.408, p < 0.001, d = -0.173$ (see Table 2 for additional data). Although there was a significant decrease, the effect is negligible due to Cohen's d being smaller than 0.2. The same was observed for the inclusion of nature in self scores, with a mean difference of -0.140 ($SD = 1.078, SEM = 0.054$), $t(392) = -2.574, p = 0.010, d = -0.130$. There was no change in environmental attitude scores [mean difference of -0.050 ($SD = 0.728, SEM = 0.037$), $t(391) = -1.364, p = 0.173, d = -0.069$].

4 Discussion

4.1 Assessing attitude toward nature with adolescents

As the complete 45-item pool yielded favorable fit indices, strong reliability scores, and overall satisfactory MS_w -values, the scale's

5 Teilarbeiten

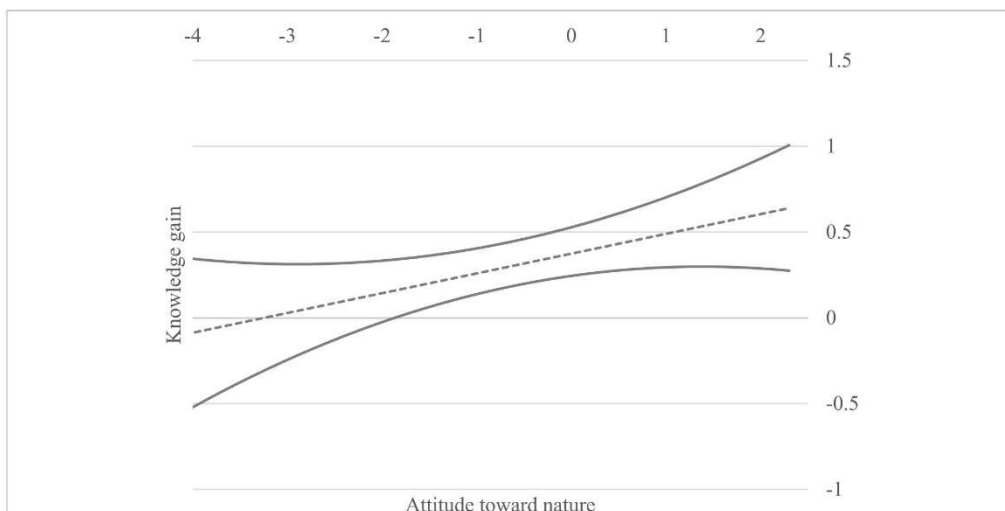


FIGURE 2
Attitude toward nature's effect on knowledge gains, i.e., the difference between the retention knowledge scores and the knowledge scores before the educational intervention; the dashed line shows the trend line, while the solid lines reflect the effective confidence intervals. The more positive the students' attitude toward nature was, the more knowledge they gained.

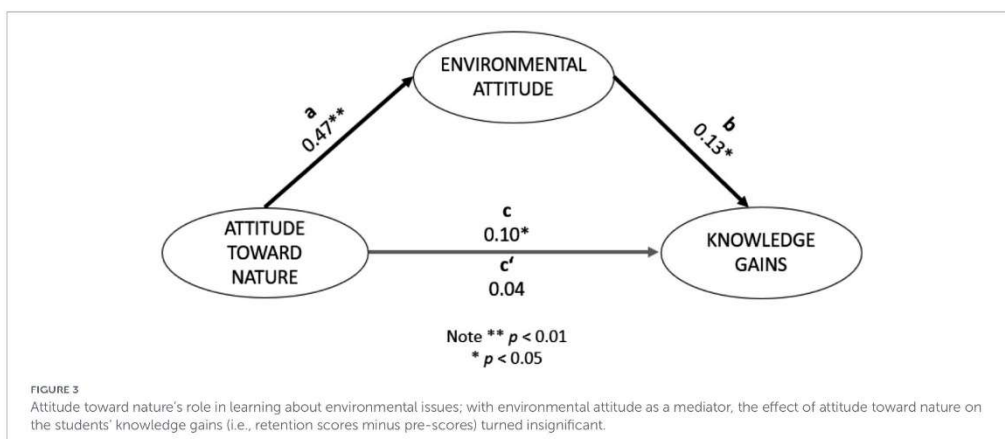


FIGURE 3
Attitude toward nature's role in learning about environmental issues; with environmental attitude as a mediator, the effect of attitude toward nature on the students' knowledge gains (i.e., retention scores minus pre-scores) turned insignificant.

TABLE 2 Pre- and retention test mean scores, sample sizes, standard deviation, and standard error of mean for all attitudes.

Attitude scale	Testing point	M	N	SD	SEM
Inclusion of nature in self	Pre	4.14	393	1.239	0.062
	Retention	4.00	393	1.254	0.063
Attitude toward nature	Pre	-0.4920	388	1.01427	0.05149
	Retention	-0.6340	388	1.02989	0.05228
Environmental attitude	Pre	0.0601	392	0.88298	0.04460
	Retention	0.0099	392	1.00222	0.05062

appropriateness with adolescents is proven. However, the extensive number of items is time-consuming for the collaborating teaching staff and runs the risk of participants completing them insufficiently

(Eisele et al., 2022). Additionally, with lengthy questionnaires, items toward the end tend to be responded to with less consideration than those at the beginning (Galesic and Bosnjak, 2009). Long

questionnaires may thus compromise the data quality. Consequently, we investigated the adequacy of a reduced item set from the proposed measurement pool. Subsequent analysis of the shortened 25 item-version indicated similarly satisfactory fit values, and the scale could still differentiate well among the participants. This suggests that the item pool is a reliable proxy for assessing adolescents' attitudes toward nature. In conclusion, refining the item pool to 25 items maintained the reliability and validity of the complete item pool for adolescents, and further reductions appear promising. Streamlining the scale through item reduction could enhance its practicality and applicability without compromising the data quality. This may encourage researchers to carefully select fewer but relevant items for their specific study cohort, considering item difficulties and fit values to ensure accurate and valid findings. As such, the item pool allows flexibility for the items to match the cohort (i.e., culturally and geographically) while maintaining interstudy comparability.

4.2 The impact of attitude toward nature, environmental attitude, and inclusion of nature in self on students' learning

Secondly, we investigated the influence of attitude toward nature, environmental attitude, and inclusion of nature in self on the students' environmental knowledge scores and gains. Our study revealed overall positive correlations between individuals' attitudes and the levels of environmental knowledge they previously had, acquired, and retained. The correlations of attitude toward nature, environmental attitude, and the inclusion of nature in the self-scale were most prominent with long-term knowledge scores, indicating that those with more positive attitudes could acquire long-term knowledge. It suggests that those with positive attitudes were indeed more committed to nature protection and conservation, reflected by their probably deeper engagement in and out of class.

This is particularly true for environmental attitude: Those with more positive environmental attitude scores knew more about the topic before the intervention and gained more knowledge in the long run. In contrast, the relationship with post-program knowledge scores is less tight (for similar results on a similar intervention, see Baierl and Bogner, 2024). This indicates that those with a more positive attitude engaged more in the topic before the intervention and the learning activities. It resonates with previous findings that those with more positive attitudes are more likely to take learning opportunities and to engage more rigorously in the learning opportunities given, which is reflected by a tighter connection with pre- and retention-knowledge scores and with long-term knowledge gains (Baierl et al., 2022). Those with less positive attitudes gained mostly only short-term knowledge (i.e., knowledge scores right after the intervention), probably less committed to the topic, and rather inclined with baseline classroom instructions (see also Baierl and Bogner, 2024).

In addition to cognitive factors, such as intelligence, diverse aspects influence learning and play a role in academic achievement (Weber et al., 2013), such as earning teachers' recognition or gaining peer admiration (Urdan and Maehr, 1995). However, the students' environmental attitudes may also serve as a critical determinant, not only spurring their actions toward environmental preservation (Taube and Vetter, 2019) but also influencing their active pursuit of new learning opportunities (Taube et al., 2021) and their deep engagement with environmental conservation initiatives (Henn et al.,

2019). Consequently, differences in the intensity of students' learning efforts logically lead to variations in their knowledge levels, even within the same instructional environment. The association of attitudes and knowledge levels emphasizes the vital role of positive attitudes in enhancing the effectiveness of environmental education efforts. Our results point to the importance of cultivating favorable attitudes toward nature and the environment to foster a more profound understanding and acquisition of environmental knowledge among students. After all, besides other factors such as socioeconomic status (Franzen and Vogl, 2013), attitudes are more likely to be affected through classroom teaching.

Our research further elaborated on attitude toward nature's foundational role in shaping environmental attitude and, consequently, cognitive learning. Previous research revealed environmental attitude's mediating effect in learning: While attitude toward nature positively affects the student's long-term knowledge scores, environmental attitude fully mediates their relationship, rendering attitude toward nature a predecessor of environmental attitude and learning (Baierl et al., 2024). Our findings advance those and demonstrate environmental attitude's mediating effect on the student's knowledge retention.

Kaiser et al. (2014) described a mutual connection between attitude toward nature and environmental attitude. They observed these attitudes to be quite stable, noting that if any changes occurred, they were likely to increase simultaneously. Our results support the connection between individuals' attitude levels and receptiveness to environmental concepts and learning experiences; attitudes appear to act as a fundament for learning success. Consequently, developing educational approaches that strengthen attitudes becomes decisive, e.g., by integrating nature-based elements (Collado et al., 2020; Genc et al., 2018), outdoor learning opportunities (Rios and Brewer, 2014), and experiential activities. Embedding these approaches within curricular recommendations and educational initiatives could yield substantial benefits in promoting environmental consciousness and fostering sustainable behaviors.

4.3 The interventions' effects on students' attitude toward nature, environmental attitude, and inclusion of nature in self

Lastly, we examined the impact of our interventions on the levels of attitude toward nature, environmental attitude, and inclusion of nature in self among the participants. Our analysis only showed negligible differences (all effect sizes $d < 0.2$; see chapter 3.3) in the students' attitudes before and after our short-term interventions. This finding aligns with some existing literature, indicating that isolated short-term interventions may not be sufficient to elicit considerable changes in attitude toward nature and environmental attitude (e.g., Bogner and Wiseman, 2004; Liefänder and Bogner, 2016). Additional research suggests that long-term engagement with nature-based experiences by integrating education for sustainable development into regular classroom practices is effective in fostering lasting attitude changes (Bogner, 1998; Bogner and Wiseman, 2004; Duerden and Witt, 2010). Additionally, our findings, with the limited impact of short-term interventions, highlight the need for comprehensive and continuous approaches. Integrating outdoor interventions into isolated learning units may not adequately address the complexities of attitude formation and

behavior change. Instead, it seems imperative to create opportunities for meaningful encounters with nature and incorporate environmental education into various aspects of the curriculum. Utilizing outdoor educational settings (Genc et al., 2018), engaging in experience-based learning (Ballantyne and Packer, 2008), and integrating sustainability principles across subjects might be key to fostering positive attitudes toward nature and environmental conservation among students.

5 Conclusion

Attitudinal preferences influence cognitive learning about sustainability-related issues, producing a clear pattern: The higher a person's attitude level scored, the more knowledge was gained and retained. Attitude levels apparently act as triggers in the educational channel. Consequently, schools in general should concentrate on fostering attitudes to enable effective learning, which in the long-range may lead to favorable behavioral changes toward sustainability. Unsurprisingly, our short-term in-classroom intervention did not yet induce significant changes in students' environmental attitudes, which underlines the importance of long-term interventions, so to say, as hidden syllabus in all classroom actions during school life. With continuous nature-based experiences within sustainable principles a realistic chance of being internalized by the students is given. Eventually, it will lead to facilitate long-lasting shifts in attitudes and behaviors toward the environment.

Data availability statement

The datasets presented in this article are not readily available because of the Bavarian Ministry for Education's guidelines regarding data of underaged participants. Requests to access the datasets should be directed to juliane.fleissner-martin@uni-bayreuth.de.

Ethics statement

The studies involving humans were approved by the Bavarian Ministry of Education (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus; StMBK) under Grant (IV.7-BO4106.2022/6/13, 31.05.2022). The studies were conducted in accordance with the local legislation and institutional requirements. Written informed consent for participation in this study was provided by the participants' legal guardians/next of kin.

Author contributions

JF-M: Formal analysis, Data curation, Visualization, Methodology, Conceptualization, Writing – original draft. T-MB: Formal analysis, Visualization, Data curation, Writing – review & editing. JP: Writing – review & editing. FXB: Funding acquisition, Writing – review & editing.

Funding

The author(s) declared that financial support was received for this work and/or its publication. This work was supported by the Bavarian Ministry of Education (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus; StMBK) under Grant (IV.7-BO4106.2022/6/13, 31.05.2022), and the University of Bayreuth.

Acknowledgments

We extend our gratitude to all the schools, teachers, and students who participated in this study. We also thank the Bavarian Ministry of Education (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus; StMBK) for authorizing our research (IV.7-BO4106.2022/6/13, 31.05.2022), and the University of Bayreuth for their support.

Conflict of interest

The author(s) declared that this work was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Generative AI statement

The author(s) declared that Generative AI was not used in the creation of this manuscript.

Any alternative text (alt text) provided alongside figures in this article has been generated by Frontiers with the support of artificial intelligence and reasonable efforts have been made to ensure accuracy, including review by the authors wherever possible. If you identify any issues, please contact us.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Supplementary material

The Supplementary material for this article can be found online at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2026.1766028/full#supplementary-material>

References

- Adams, R. J., and Khoo, S.-T. (1996). *Acer Quest: the Interactive test Analysis system* (Version 2.1). Camberwell, Victoria: Australian Council for Educational Research. Available online at: <https://research.acer.edu.au/measurement/3/>.
- Ahmadov, T., Karimov, A., Durst, S., Saarela, M., Gerstlberger, W., Wahl, M. F., et al. (2025). A two-phase systematic literature review on the use of serious games for sustainable environmental education. *Interact. Learn. Environ.* 33, 1945–1966. doi: 10.1080/10494820.2024.2414429
- Baierl, T.-M., and Bogner, F. X. (2024). Cognitive learning about forests: the key role of environmental attitude. *Int. J. Sci. Educ.* 47, 358–378. doi: 10.1080/09500693.2024.2323917
- Baierl, T.-M., Kaiser, F. G., and Bogner, F. X. (2022). The supportive role of environmental attitude for learning about environmental issues. *J. Environ. Psychol.* 81:101799. doi: 10.1016/j.jenvp.2022.101799
- Baierl, T.-M., Kaiser, F. G., and Bogner, F. X. (2024). The role of attitude toward nature in learning about environmental issues. *Front. Psychol.* 15:1471026. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1471026
- Ballantyne, R., and Packer, J. (2008). Introducing a fifth pedagogy: experience-based strategies for facilitating learning in natural environments. *Environ. Educ. Res.* 15, 243–262. doi: 10.1080/10354620802711282
- Baron, R., and Kenny, D. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations. *J. Pers. Soc. Psychol.* 51, 1173–1182. doi: 10.1037/0022-3514.51.6.1173
- Barrera-Hernández, L. E., Sotelo-Castillo, M. A., Echeverría-Castro, S. B., and Tapia-Fonllem, C. O. (2020). Connectedness to nature: its impact on sustainable behaviors and happiness in children. *Front. Psychol.* 11:276. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00276
- Bogner, F. X. (1998). The influence of short-term outdoor ecology education on long-term variables of environmental perspective. *J. Environ. Educ.* 29, 17–29. doi: 10.1080/00958969809599124
- Bogner, F., and Wiseman, M. (2004). Outdoor ecology education and pupils' environmental perception in preservation and utilisation. *Sci. Educ. Int.* 15, 27–48.
- Bond, T. G., and Fox, C. M. (2007). *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the human Sciences*. New York, NY: Routledge.
- Borrego, C., Fernández, C., Blanes, I., and Robles, S. (2017). Room escape at class: escape games activities to facilitate the motivation and learning in computer science. *J. Technol. Sci. Educ.* 7, 162–171. doi: 10.3926/JOISE.247
- Brügger, A., Kaiser, F. G., and Roczen, N. (2011). One for all? *Eur. Psychol.* 16, 324–333. doi: 10.1027/1016-9040/a000032
- Campbell, D. T. (1963). "Social attitudes and other acquired Behavioral dispositions," in *Psychology: A Study of a Science. Study II. Empirical Substructure and Relations with other Sciences. Volume 6. Investigations of man as socius: their place in psychology and the social Sciences*, vol. 6 (New York: McGraw-Hill), 94–172.
- Cheng, J. C.-H., and Monroe, M. C. (2012). Connection to nature. *Environ. Behav.* 44, 31–49. doi: 10.1177/0013916510385082
- Clayton, S. (2003). "Environmental identity: a conceptual and an operational definition," in *Identity and the natural Environment. The Psychological Significance of Nature*, eds. S. Clayton and S. Opatow (Cambridge, Mass: MIT Press), 45–65.
- Collado, S., Rosa, C. D., and Corraliza, J. A. (2020). The effect of a nature-based environmental education program on children's environmental attitudes and behaviors: a randomized experiment with primary schools. *Sustainability* 12:6817. doi: 10.3390/su12176817
- De Freitas, S. (2018). Are games effective learning tools? A review of educational games. *J. Educ. Technol. Soc.* 21, 74–84.
- DeVille, N. V., Tomasso, L. P., Stoddard, O. P., Wilt, G. E., Horton, T. H., Wolf, K. L., et al. (2021). Time spent in nature is associated with increased pro-environmental attitudes and behaviors. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18:7498. doi: 10.3390/ijerph18147498
- Duerden, M. D., and Witt, P. A. (2010). The impact of direct and indirect experiences on the development of environmental knowledge, attitudes, and behavior. *J. Environ. Psychol.* 30, 379–392. doi: 10.1016/j.jenvp.2010.03.007
- Eisele, G., Vachon, H., Lafit, G., Kuppens, P., Houben, M., Myin-Germeys, I., et al. (2022). The effects of sampling frequency and questionnaire length on perceived burden, compliance, and careless responding in experience sampling data in a student population. *Assessment* 29, 136–151. doi: 10.1177/1073191120957102
- Fleissner-Martin, J., and Bogner, F. X. (2024). Save the forests!—gamified learning. *Am. Biol. Teach.* 86, 193–200. doi: 10.1525/abt.2024.86.4.193
- Fleissner-Martin, J., Bogner, F. X., and Paul, J. (2023). Digital vs. analog learning—two content-similar interventions and learning outcomes. *Forests* 14:1807. doi: 10.3390/f14091807
- Frantz, C. M., and Mayer, F. (2014). The importance of connection to nature in assessing environmental education programs. *Stud. Educ. Eval.* 41, 85–89. doi: 10.1016/j.stueduc.2013.10.001
- Franzen, A., and Vogl, D. (2013). Two decades of measuring environmental attitudes: a comparative analysis of 33 countries. *Glob. Environ. Chang.* 23, 1001–1008. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.03.009
- Freese, M., and Lukosch, H. K. (2025). Structured briefing: towards meaningful learning experiences with simulation games. *Comput. Educ.* 240:105461. doi: 10.1016/j.compedu.2025.105461
- Galesic, M., and Bosnjak, M. (2009). Effects of questionnaire length on participation and indicators of response quality in a web survey. *Public Opin. Q.* 73, 349–360. doi: 10.1093/poq/nfp031
- Geiger, S., Geiger, M., and Wilhelm, O. (2019). Environment-specific vs. general knowledge and their role in pro-environmental behavior. *Front. Psychol.* 10:718. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00718
- Genc, M., Genc, T., and Rasgele, P. G. (2018). Effects of nature-based environmental education on the attitudes of 7th grade students towards the environment and living organisms and affective tendency. *Int. Res. Geogr. Environ. Educ.* 27, 326–340. doi: 10.1080/10382046.2017.1382211
- Henn, L., Taube, O., and Kaiser, F. G. (2019). The role of environmental attitude in the efficacy of smart-meter-based feedback interventions. *J. Environ. Psychol.* 63, 74–81. doi: 10.1016/j.jenvp.2019.04.007
- Hu, R., and Mou, S. (2025). Outdoor education for sustainable development: a systematic literature review. *Sustainability* 17:3338. doi: 10.3390/su17083338
- Huang, S., Kuo, Y., and Chen, H. (2020). Applying digital escape rooms infused with science teaching in elementary school: learning performance, learning motivation, and problem-solving ability. *Think. Skills Creat.* 37:100681. doi: 10.1016/j.tsc.2020.100681
- Kaiser, F. G., Brügger, A., Hartig, T., Bogner, F. X., and Gutscher, H. (2014). Appreciation of nature and appreciation of environmental protection: how stable are these attitudes and which comes first? *Eur. Rev. Appl. Psychol.* 64, 269–277. doi: 10.1016/j.erap.2014.09.001
- Kaiser, F. G., Byrka, K., and Hartig, T. (2010). Reviving Campbell's paradigm for attitude research. *Person. Soc. Psychol. Rev.* 14, 351–367. doi: 10.1177/108868310366452
- Kaiser, F. G., Oerke, B., and Bogner, F. X. (2007). Behavior-based environmental attitude: development of an instrument for adolescents. *J. Environ. Psychol.* 27, 242–251. doi: 10.1016/j.jenvp.2007.06.004
- Kesenheimer, J. S., and Greitemeyer, T. (2021). Going green (and not being just more pro-social): do attitude and personality specifically influence pro-environmental behavior? *Sustainability* 13:3560. doi: 10.3390/su13063560
- Kollmuss, A., and Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environ. Educ. Res.* 8, 239–260. doi: 10.1080/13504620220145401
- Krath, J., Schürmann, L., and Von Korfflesch, H. F. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification: a systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. *Comput. Hum. Behav.* 125:106963. doi: 10.1016/j.chb.2021.106963
- Krettenauer, T. (2017). Pro-environmental behavior and adolescent moral development. *J. Res. Adolesc.* 27, 581–593. doi: 10.1111/jora.12300
- Liefländer, A. K., and Bogner, F. (2016). Educational impact on the relationship of environmental knowledge and attitudes. *Environ. Educ. Res.* 24, 370–384. doi: 10.1080/13504622.2016.1188265
- Liefländer, A. K., Fröhlich, G., Bogner, F. X., and Schultz, P. W. (2012). Promoting connectedness with nature through environmental education. *Environ. Educ. Res.* 19, 370–384. doi: 10.1080/13504622.2012.697545
- Liu, P., Teng, M., and Han, C. (2020). How does environmental knowledge translate into pro-environmental behaviors?: the mediating role of environmental attitudes and behavioral intentions. *Sci. Total Environ.* 728:138126. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138126
- Markowitz, E. M., Goldberg, L. A., Ashton, M.-C., and Lee, K. (2012). Profiling the "pro-environmental individual": a personality perspective. *J. Pers.* 80, 81–111. doi: 10.1111/j.1467-6494.2011.00721.x
- Mayer, F., and Frantz, C. M. (2004). The connectedness to nature scale: a measure of individuals' feeling in community with nature. *J. Environ. Psychol.* 24, 503–515. doi: 10.1016/j.jenvp.2004.10.001
- Muenz, T. S., Schaal, S., Groß, J., and Paul, J. (2023). How a digital educational game can promote learning about sustainability. *Sci. Educ. Int.* 34, 293–302. doi: 10.33828/sei.v34.i4.5
- Nisbet, E. K., Zelenski, J. M., and Murphy, S. A. (2008). The nature relatedness scale: linking individuals' connection with nature to environmental concern and behavior. *Environ. Behav.* 41, 715–740. doi: 10.1177/0013916508318748
- Oberle, E., Zeni, M., Munday, F., and Brussoni, M. (2021). Support factors and barriers for outdoor learning in elementary schools: a systemic perspective. *Am. J. Health Educ.* 52, 251–265. doi: 10.1080/19325037.2021.1955232
- Olivos, P., Aragones, J., and Navarro, O. (2013). Environmental education: itineraries in nature and their relationship with connectedness, environmental concerns and behavior. *Rev. Latinoam. Psicol.* 45, 501–511.
- Parker, K., and Welch, T. (2021). Innovative teaching strategies to escape the anxiety in simulation. *Teach. Learn. Nurs.* 16, 414–417. doi: 10.1016/j.teln.2021.06.005
- Posch, P. (1991). "Environment and school initiatives," in *Environment, Schools, and Active Learning*, eds. K. Kelly-Elaine and P. Posch (Paris: OECD).

5 Teilarbeiten

Fleissner-Martin et al.

10.3389/feduc.2026.1766028

- Rasch, G. (1980). *Probabilistic Models for some Intelligence and Attainment Tests*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Remmen, K. B., and Iversen, E. (2023). A scoping review of research on school-based outdoor education in the Nordic countries. *J. Adventure Educ. Outdoor Learn.* 23, 433–451. doi: 10.1080/14729679.2022.2027796
- Rios, J. M., and Brewer, J. (2014). Outdoor education and science achievement. *Appl. Environ. Educ. Commun.* 13, 234–240. doi: 10.1080/1533015x.2015.975084
- Rosa, C. D., and Collado, S. (2019). Experiences in nature and environmental attitudes and behaviors: setting the ground for future research. *Front. Psychol.* 10:763. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00763
- Schmitz, G., and Rocha, J. B. (2018). Environmental education program as a tool to improve children's environmental attitudes and knowledge. *Education*. 18:10.5923/j.edu.20180802.01.
- Schultz, W. P. (2002). "Knowledge, information, and household recycling: examining the knowledge-deficit model of behavior change," in *New Tools for Environmental Protection: Education, Information, and Voluntary Measures*, eds. T. Dietz and P. C. Stern (Washington DC: National Academy Press), 67–82. doi: 10.5923/j.edu.20180802.01
- Taube, O., Ranney, M. A., Henn, L., and Kaiser, F. G. (2021). Increasing people's acceptance of anthropogenic climate change with scientific facts: is mechanistic information more effective for environmentalists? *J. Environ. Psychol.* 73:101549. doi: 10.1016/j.jenvp.2021.101549
- Taube, O., and Vetter, M. (2019). How green defaults promote environmentally friendly decisions: attitude-conditional default acceptance but attitude-unconditional effects on actual choices. *J. Appl. Soc. Psychol.* 49, 721–732. doi: 10.1111/jasp.12629
- Urduan, T. C., and Maehr, M. (1995). Beyond a two-goal theory of motivation and achievement: a case for social goals. *Rev. Educ. Res.* 65, 213–243. doi: 10.3102/00346543065003213
- Waite, S. (2020). Where are we going? International views on purposes, practices and barriers in school-based outdoor learning. *Educ. Sci.* 10:311. doi: 10.3390/educsci10110311
- Weber, J., Lu, L., Shi, J., and Spinath, F. (2013). The roles of cognitive and motivational predictors in explaining school achievement in elementary school. *Learn. Individ. Differ.* 25, 85–92. doi: 10.1016/j.lindif.2013.03.008
- Whitburn, J., Linklater, W. L., and Abrahamse, W. (2020). Meta-analysis of human connection to nature and proenvironmental behavior. *Conserv. Biol.* 34, 180–193. doi: 10.1111/cobi.13381
- Wright, B. D., and Masters, G. N. (1982). *Rating Scale Analysis Rasch Measurement*. Chicago, IL: Mesa Press.
- Zelenski, J. M., and Nisbet, E. K. (2014). Happiness and feeling connected: the distinct role of nature relatedness. *Environ. Behav.* 46, 3–23. doi: 10.1177/0013916512451901

Anhang

Im Folgenden werden die Unterrichtsmaterialien der beiden Module aus Teilstudie A sowie die Fragebögen aus den Teilstudien B, C und D beigelegt. Die Unterrichtsmaterialien von Teilstudie A sind wie folgt strukturiert:

Analoges Unterrichtsmodul

- PowerPoint®-Präsentation
- Arbeitsheft für Lernende
- Lösungsheft für Lehrkräfte (inkl. aller Quellenangaben der Materialien)
- Zusätzliche Lehrmaterialien (Informationskarten etc.)

Digitales Unterrichtsmodul

- PowerPoint®-Präsentation
- Druckvorlage für Startkarten
- Lösungshinweise für Lehrkräfte
- Screenshots der Websites

Das digitale Modul kann unter diesem Link aufgerufen werden:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfIZCvZskWcnOZ2SRnp26gEe-h0_iRhUtU-KNcd3qBT2mjMgg/viewform (Zuletzt geprüft am: 17.06.2025)

Sämtliche Materialien der Unterrichtseinheiten im PDF- bzw. PowerPoint-Format, sowie eine detaillierte Bildquellenaufstellung (auch aller CC0-1.0 lizenzierten Bilder) der Materialien getrennt nach analoger und digitaler Intervention können unter dem folgenden Link eingesehen und heruntergeladen werden:

<https://drive.google.com/drive/folders/1jBpkbwWOGK77P8uQCUPFID8gBMraMdCx?usp=sharing> (Zuletzt geprüft am: 05.09.2025)

A. Analoges Unterrichtsmodul

A.1 PowerPoint®-Präsentation



1



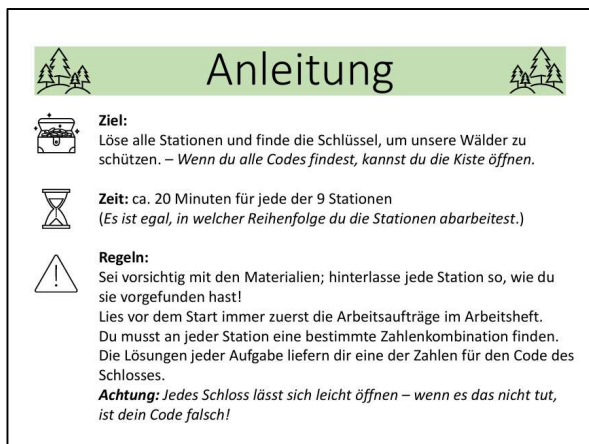
2



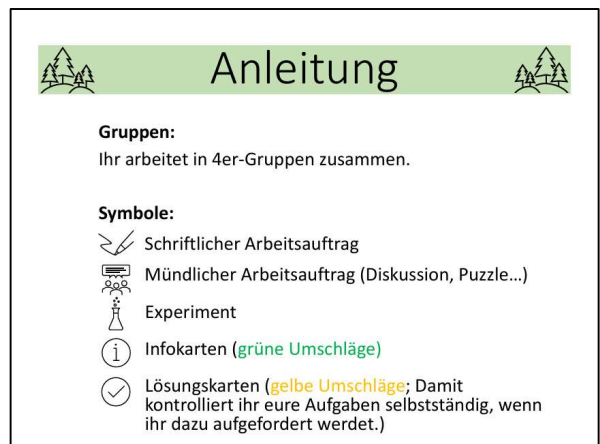
3





4



5



6



 **Rettet den Wald!** 

Ihr seid dran:





Löst alle Aufgaben, um eure Truhe zu öffnen.

Fragt gerne nach Hilfe, wenn ihr sie braucht.

7

 **Evaluation** 

Reflektiere über dein Lernen in Bezug auf diese Fragen:

-  Welcher Inhalt war für dich besonders wichtig und warum?
-  Gab es Inhalte, die völlig im Widerspruch zu dem standen, was du vorher zu wissen glaubtest?
-  Welcher Inhalt war für dich schwer verständlich? Was war der Grund? Wie hast du die Schwierigkeiten überwunden?
-  Hast du noch offene Fragen?

8

A.2 Arbeitsheft für Lernende

ARBEITSHEFT



RETTET DEN WALD

- löse alle Stationen und finde die Schlüssel
zum Schutz unserer Wälder

NAME: _____

DATUM: _____

ANLEITUNG:

A) ZIEL

Löst alle Stationen und findet die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder.
– Wenn ihr alle Codes findet, könnt ihr eure Truhe öffnen.

B) ZEIT

Ca. 20 Minuten für jede der 9 Stationen
(Die Reihenfolge in der ihr die Stationen bearbeitet ist egal.)

C) REGELN

- Seid vorsichtig mit den Materialien und hinterlasst jede Station so, wie ihr sie vorgefunden habt.
- Lest vor Beginn die Arbeitsaufträge auf deinen Arbeitsblättern.
- Ihr müsst eine bestimmte Kombination von Zahlen finden.
Die Lösungen jeder Aufgabe liefern euch eine der Zahlen für den Code des Schlosses.
Achtung: Jedes Schloss lässt sich leicht öffnen – wenn es das nicht tut, ist euer Code falsch!

D) GRUPPEN

Ihr arbeitet in 4er-Gruppen zusammen.

E) SYMBOLE



Schriftlicher Arbeitsauftrag



Mündlicher Arbeitsauftrag (Diskussion, Puzzle...)



Experiment



Infokarten (grüne Umschläge)



Lösungskarten (gelbe Umschläge; Damit kontrolliert ihr eure Aufgaben selbstständig, wenn ihr dazu aufgefordert werdet.)

STATION 1: DER WALD – EIN WICHTIGES ÖKOsystem


„Du siehst den Wald vor lauter Bäumen nicht.“ - Diesen Spruch hast du bestimmt schon mal gehört. Doch der Wald ist mehr als nur eine Ansammlung von Bäumen! Unter dem Baumkronendach verbirgt sich ein Ökosystem mit einer Vielzahl von Lebewesen. Bei uns in Mitteleuropa unterscheidet man hauptsächlich Laubwälder (nur Laubbäume), Nadelwälder (nur Nadelbäume) und Mischwälder (Laub- und Nadelbäume).



Abbildung 1: Baumkronendächer eines Laubwaldes (links), eines Nadelwaldes (mittig) und eines Mischwaldes (rechts).

EIN ÖKO-WAS? – WIEDERHOLUNG

Bereits in Natur und Technik hast du die Ökosysteme Grünland und See (Abbildung 2) kennengelernt. Grundsätzlich bestehen alle Ökosysteme aus dem Lebensraum und den darin vorkommenden Lebewesen. Jedes Lebewesen ist verschiedenen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Man unterscheidet diese Umwelteinflüsse in sog. abiotische und biotische Faktoren.

 **Aufgabe 1:** Definiere die Begriffe „abiotische Faktoren“ und „biotische Faktoren“ mithilfe von Abbildung 2 und gib jeweils mindestens zwei konkrete Beispiele an!

 Überprüfe anschließend deine Lösung.


Abiotische Faktoren sind _____

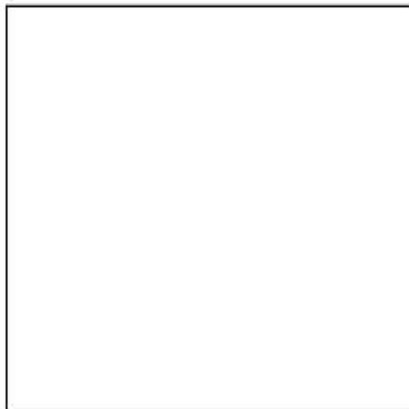
Biotische Faktoren sind _____



Abiotische Faktoren + Biotische Faktoren = Ökosystem

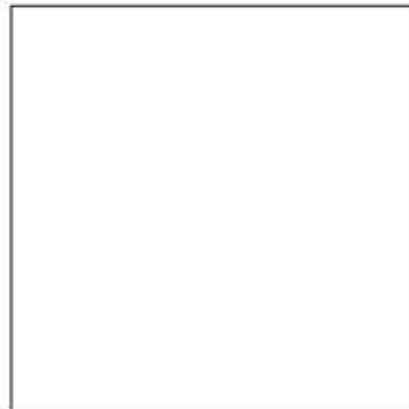
Abbildung 2: Abiotische und biotische Faktoren im Ökosystem See.

 **Aufgabe 2:** Ergänze die Skizzen analog zu Abbildung 2 für das Ökosystem Wald.



Abiotische Faktoren

+



Biotische Faktoren



= **Ökosystem**

Abbildung 3: Abiotische and biotische Faktoren im Ökosystem Wald.






LÖST DAS SCHNUR-RÄTSEL UND TRAGT DEN CODE FÜR DAS ROTE SCHLOSS HIER EIN:

--	--	--	--

STATION 2: DER STOCKWERKBAU DES WALDES

Der Wald gliedert sich ähnlich wie ein Gebäude in verschiedene Stockwerke.

-  **Aufgabe 1:** Lest euch die Infokärtchen zu den Stockwerken eines Laubmischwaldes vor.
-  **Aufgabe 2:** Ordnet die Infokärtchen den eingezeichneten Stockwerken in Abbildung 1 zu.
-  **Aufgabe 3:** Überprüft eure Lösung und ergänzt die fehlenden Begriffe in Abbildung 1.

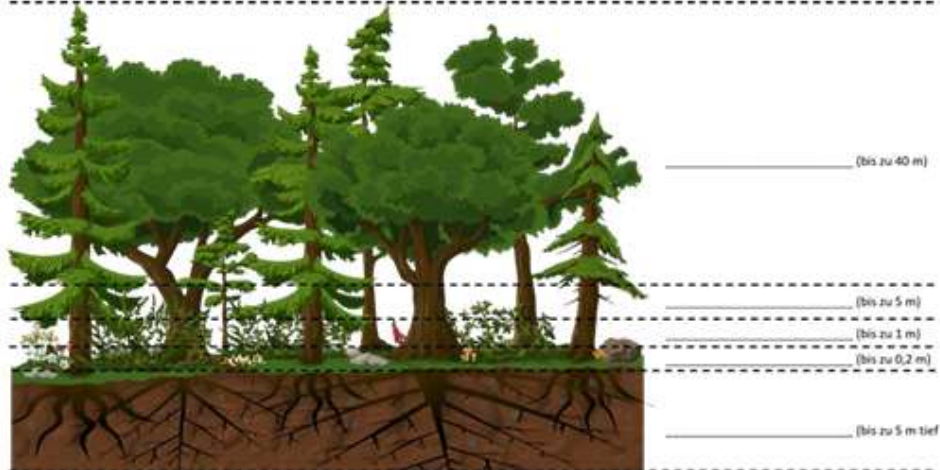



Abbildung 1: Stockwerkbau des Waldes.

-  **Aufgabe 4:** Baut das Experiment wie in Abbildung 2 gezeigt auf. Gießt anschließend zeitgleich jeweils 50 ml Wasser in jeden Trichter. Dokumentiert die durchgeflossene Wassermenge zu den angegebenen Messzeitpunkten. Nutze hierfür die Stoppuhr.

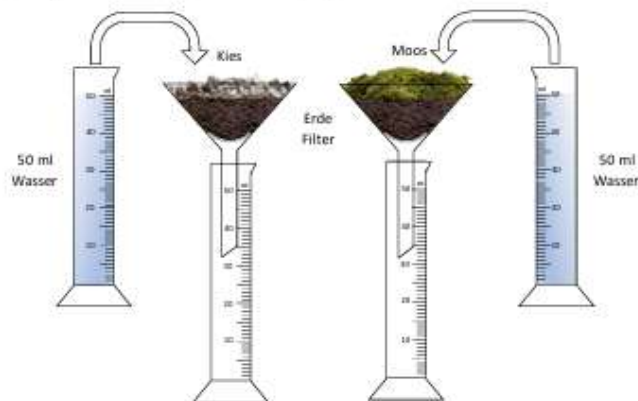
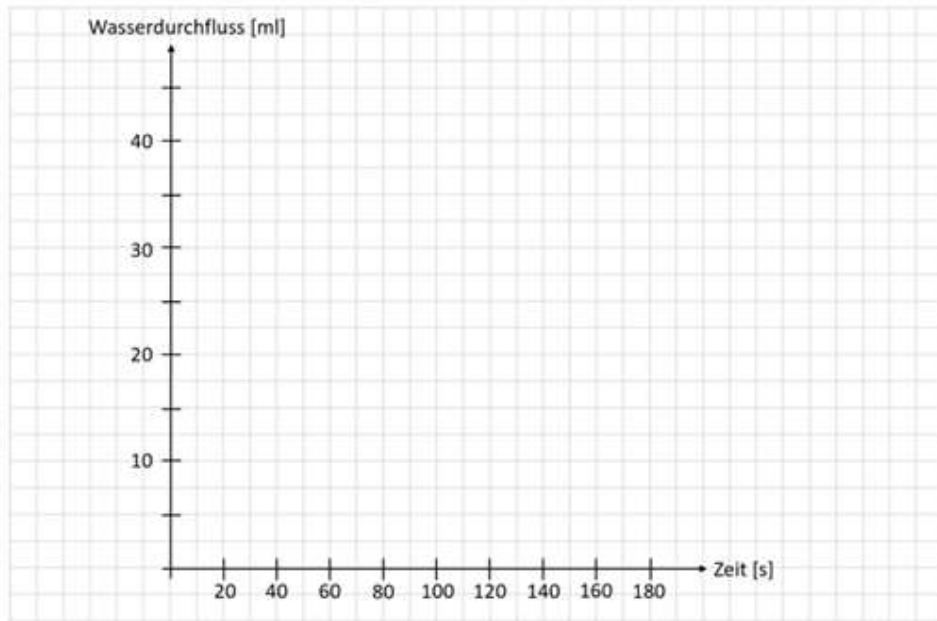


Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Wasserdurchflusses.

Zeit [s]	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Wasserdurchfluss mit Kies [ml]									
Wasserdurchfluss mit Moos [ml]									

Aufgabe 5: Trage den Wasserdurchfluss der beiden Versuchsansätze in Milliliter gegen die Zeit in Sekunden in einem gemeinsamen Diagramm auf.



Aufgabe 6: Benenne das Stockwerk und erläutere dessen Bedeutung für den Wald, die durch das Experiment modellhaft veranschaulicht werden konnte.

Aufgabe 7: Ein Biologe hat im Juli den Anteil des Lichts bestimmt, der in einem Waldstück des Frankenwalds (ein Mischwald) in einer bestimmten Höhe noch messbar war (= relative Lichtmenge). Im untersuchten Waldstück ist die Baumschicht 15m hoch – ca. 1,5mal so hoch wie der höchste Sprungturm im Freibad. Die Messpunkte waren in folgenden Höhen: 0,02 m, 0,1 m, 1m, 4m und 16 m. Ordne die Messwerte 100%, 2%, 22%, 4% und 0,1% den Messhöhen begründet zu.

↙ **Aufgabe 8:** Das Buschwindröschen ist an das Leben in der Krautschicht des Waldes angepasst. Bereits im März blüht es, noch bevor es seine fingerförmigen Blätter austreibt. Wurden seine Samen verstreut, bildet es im Frühsommer alle oberirdischen Pflanzenteile zurück und überdauert bis zum nächsten Frühling unter der Erde. Erkläre, weshalb sich die Lebenszeit des Buschwindröschens nur auf die wenigen Frühlingsmonate beschränkt.



☑ **ÜBERPRÜFT EURE LÖSUNGEN UND TRAGT DEN CODE FÜR DAS GRÜNE SCHLOSS HIER EIN:**

Anzahl der Stockwerke des Waldes	Max. Höhe der Krautschicht in m	Lichtintensität im Wald bei 1m über dem Boden in % (Aufgabe 7)

STATION 3: WELCHE BÄUME WACHSEN IM WALD?

An dieser Station findest du Blätter verschiedener Waldbaumarten.

i Aufgabe: Bestimme die Baumarten, zu denen die ausliegenden Blätter gehören. Nutzt dafür den Bestimmungsschlüssel. Die Baumkärtchen dienen euch als Unterstützung.

✍ Notiert hier eure Lösungen:

Baum 1: _____

Baum 2: _____

Baum 3: _____

Baum 4: _____



ÜBERSETZT MIT DER CODIERUNGS-TABELLE DIE BESTIMMTEN BÄUME IN DEN CODE FÜR DAS
DUNKELBLAUE SCHLOSS UND TRAGT IHN HIER EIN:

Baum 1	Baum 2	Baum 3	Baum 4

TIPP – SO FUNKTIONIERT DIE CODIERUNG:

Nehmen wir an, dass *Baum 1* eine *Hainbuche* ist. Dann sucht ihr in der Codierungstabelle die Hainbuche und schreibt die darunter stehende Zahl in die Tabelle auf diesem Arbeitsblatt.

NACH DEM STURM:

Durch die große Fläche, die bei Sturmschäden, Waldbränden oder Kahlschlag freigelegt wird, erreichen mehr Wasser und Licht den Waldboden. Bleibt in diesem Gebiet Totholz liegen, kann es als Lebensraum und durch die während des Verfalls freigesetzten Nährstoffe auch als Dünger dienen. Doch auch ohne verbleibendes Totholz kann der Lebensraum von biologischen Gemeinschaften besiedelt werden, die zuvor keine Chance hatten, sich hier auszubreiten. Der neu wachsende Wald, in seinen verschiedenen Stadien der Sukzession, fördert die Vielfalt von Lebensräumen und Wildtieren. Im Laufe der Zeit verändert sich der Lebensraum kontinuierlich, und die typischen Gemeinschaften kehren schließlich zurück. Dieser Prozess wird als **Sukzession** bezeichnet (lat. *successio*, Nachfolge, siehe Abbildung 3). Auch ohne schwerwiegende Schäden wie Waldbrände entwickeln sich Wälder stetig. Kleinere menschliche oder natürliche Störungen, die Bäume entfernen, ermöglichen es den Wäldern, zu altern und Platz für andere Baumarten zu schaffen, die dann gedeihen können.

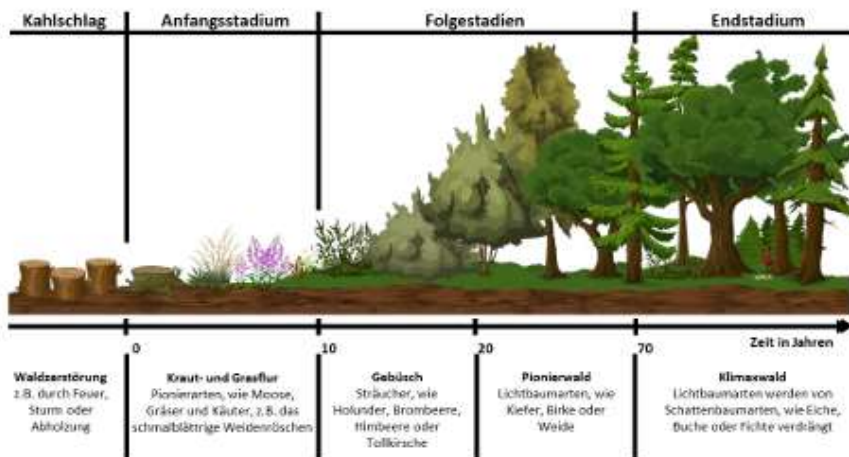


Abbildung 3: Zeitliche Abfolge der Pflanzensukzession eines Waldes nach einem Kahlschlag oder Sturmschaden.

Aufgabe 2: Das schmalblättrige Weidenröschen kann über 100.000 Samen pro Pflanze bilden. Seine winzigen Samen sind mit weißen Härchen ausgestattet und zählen zu den Schirmchenfliegern. Erkläre, warum das Weidenröschen zu den ersten Pflanzen gehört, die sich während des Anfangsstadiums der Sukzession ansiedeln.



☑ **ÜBERPRÜFT EURE LÖSUNGEN UND TRAGT DEN CODE FÜR DAS SILBERNE SCHLOSS HIER EIN:**

Lösungskarte zu Aufgabe 1		Lösungskarte zu Aufgabe 2

STATION 5: VOM BAUM ZUM HEFT ZUM EIERKARTON

Aufgabe 1: Lest die Infomaterialien (Abbildung 1-4) zur Papierherstellung und zum Papierverbrauch.

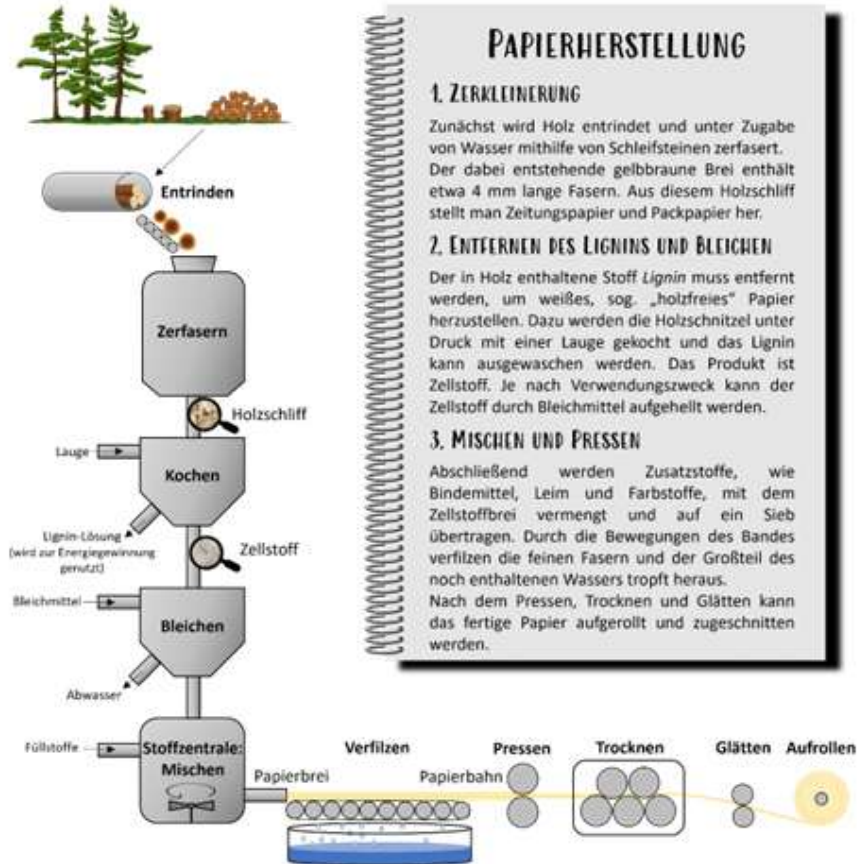


Abbildung 1: Herstellung von Primärpapier aus getrocknetem Holz.
(Abbildung in Anlehnung an https://elsenbruch.info/ch10_papierherstellung.htm, 22.03.2022)

RECYCLINGPAPIERHERSTELLUNG

Im „Pulper“, mit einem Mixer vergleichbar, werden die Fasern des Altpapiers voneinander getrennt und fein im Wasser verteilt. Papierfremde Stoffe, die sich z. T. noch im Altpapier befinden, werden mechanisch durch Siebe entfernt. Danach durchläuft der Papierbrei meist das sog. „Deinking“ (= Druckfarbenentfernung; engl. *ink* = Tinte, Druckfarbe). Üblicherweise wird der aufbereitete Altpapierstoff anschließend gebleicht. Verzichtet der Papierhersteller auf die letzten beiden Schritte, dann zeigen die Recyclingprodukte eine leicht gräuliche Färbung.

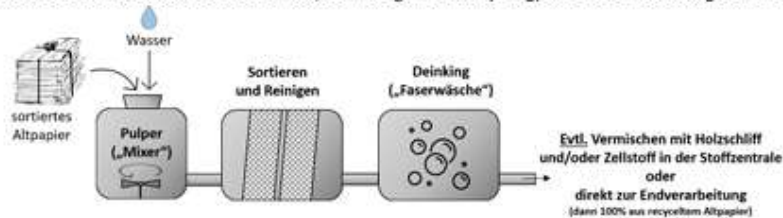


Abbildung 2: Herstellung von Recyclingpapier.

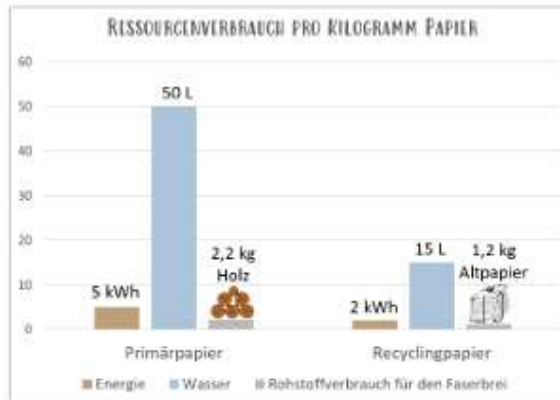


Abbildung 3: Ressourcenverbrauch der Papierherstellung (Zahlen: FÖP - KRITISCHER PAPIERBERICHT 2013, S. 71).



Abbildung 4: Pro-Kopf-Papierverbrauch der Deutschen im Jahr 2021 (Zahlen: vdp - LEISTUNGSBERICHT PAPIER 2021, S. 15).

- ↘ **Aufgabe 2:** Entscheide mithilfe der Infomaterialien (Abbildung 1-4), ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind bzw. ob keine Aussage mithilfe des Infomaterials gemacht werden kann.
- ☑ Überprüfe anschließend deine Lösung.

Aussagen	Wahr	Falsch	Keine Aussage möglich
Zur Herstellung von holzfreiem Papier wird kein Holz benötigt.			
Die Herstellung von 1 kg Primärfaserpapier (= neues Papier) benötigt 2,5-mal so viel Energie, wie für die Herstellung von 1 kg Recyclingpapier.			
Aus 1 kg Altpapier kann 1 kg Recyclingpapier hergestellt werden.			
Dem Zellstoffbrei müssen Zusatzstoffe, wie Leim und Farbstoffe beigemischt werden, damit das Papier die gewünschten Eigenschaften erhält.			
Von den 18 kg verbrauchten Hygienepapieren waren 10 kg Toilettenpapier, 5 kg Taschentücher und 3 kg Küchenrolle.			
Pro Kilogramm reinem Recyclingpapier können 2,2 kg Holz eingespart werden.			
Der Pro-Kopf-Papierverbrauch der Deutschen lag im Jahr 2021 bei ca. 256 kg.			

IN WELCHEN MÜLL GEHÖRE ICH?



Um möglichst viel Papier recyceln zu können, ist die richtige Mülltrennung von großer Bedeutung!

Aufgabe 3: Auf dem Tisch findet ihr sechs Alltagsgegenstände: Kassenzettel, Backpapier, Haftnotiz („Post-it“), Taschentücher (ohne Plastikverpackung), Eierkarton und Löschpapier.



a) In welchen Müll würdet ihr die Gegenstände entsorgen?



b) Überprüft eure Entscheidung mithilfe der Lösung auf den Gegenständen.



c) Ergänze die sechs Gegenstände in der richtigen Spalte der Tabelle.

RESTMÜLL	PAPIERMÜLL
<ul style="list-style-type: none"> • verschmutzte Papierverpackung (z.B. Pizzakarton) • Serviette • verschmutzte Pappteller • Butterbrotpapier • Briefumschlag mit Luftpolsterfolie • Tapete • Aktenordner • beschichtetes Papier, Fotopapier (der Reiß-Test zeigt's) • Abzugstreifen von Selbstklebeetiketten • Klopapier 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitung • Zeitschrift • Katalog • Telefonbuch • Karton • Wellpappe • Bastelpapierreste • Schulhefte • Büro-/Kopierpapier • Buch (ohne Umschlag) • Durchschlagpapier • Briefumschlag (ohne Klebestreifen) • Tragetüte aus Papier • saubere Papierverpackungen

WENN DU RICHTIG TRENNST, HAT PAPIER SIEBEN LEBEN ...

Wenn Papier stetig weggeworfen wird, müssen immer mehr Wälder gerodet werden. Altpapier ist ein wichtigster Rohstoff, der bis zu sechsmal recycelt werden kann.



Abbildung 5: Die sieben Leben des Papiers.

(Abbildung in Anlehnung an <https://www.drucken-deine-zeitung.de/news/nachhaltigkeit-altpapierreste/>, 22.03.2022)

LICHT IM LOGO-DSCHUNDEL – UMWELTSIEGEL FÜR NACHHALTIGE PAPIERPRODUKTE

Um unsere Umwelt und Ressourcen zu schonen, sollte man recycelte Materialien stets bevorzugen. Allerdings ist es selten offensichtlich, welche Produkte aus recycelten Materialien hergestellt wurden. Hierfür dienen die verschiedenen Umweltsiegel als Orientierungshilfe.

Aufgabe 4: Augen auf beim Hefte-Kauf! Ihr findet auf dem Tisch drei Schulhefte.

- Seht euch die drei Hefte genau an. Welches würdest du kaufen?
- Informiert euch über die aufgedruckten Umweltsiegel mithilfe von Abbildung 6.
- Kreuze das Heft an, das aus 100% Altpapier besteht: Heft 1 Heft 2 Heft 3
- Würdest du immer noch dasselbe Heft wie in Aufgabe 4a wählen? Tausche dich mit deinen Gruppenmitgliedern aus.

LICHT IM LOGO-DSCHUNDEL
– UMWELTSIEGEL FÜR NACHHALTIGE PAPIERPRODUKTE

Um unsere Umwelt und Ressourcen zu schonen, sollte man recycelte Materialien stets bevorzugen. Allerdings ist es selten offensichtlich, welche Produkte aus recycelten Materialien hergestellt wurden. Hierfür dienen die verschiedenen Umweltsiegel als Orientierungshilfe.

FSC
 + Gibt Auskunft über die Bewirtschaftung des Waldes, die teilweise nachhaltig ist.
 - Anforderungen sind nicht besonders streng.
 - Nicht alle FSC-zertifizierten Produkte sind aus Recyclingpapier. (Auf Zusatzbezeichnungen achten: 100%, Mix, Recycled)

ÖKOPIUS
 + Ohne Bleichmittel und Deinking
 + Papier besteht immer aus 100% Altpapier.

PEFC
 - Produkte sind nicht aus Altpapier
 - Anforderungen für dieses Siegel sind sehr niedrig. Es darf z. B. auch Holz aus Urwäldern verwendet werden.
 - Das Papier muss nicht chlorfrei gebleicht werden.

AQUA PRO NATURA
 + Es wird kein Zellstoff aus den Tropen verwendet.
 + Das Papier ist – wie die meisten heutzutage – chlorfrei gebleicht.
 - Produkte sind nicht aus Altpapier.

DER BLAUE ENGEL
 + sehr strenge Kriterien
 + Papier besteht immer aus 100% Altpapier.
 + Es dürfen für die Herstellung weder Chlor, noch schwer abbaubare Stoffe benutzt werden.

EUROPÄISCHES UMWELTZEICHEN (EUROBLUME)
 - Produkte sind nicht aus Altpapier.
 - Umweltfolgen durch Wasserverbrauch, Energieverbrauch und Wasserverschmutzung werden nicht berücksichtigt.
 - Anforderungen sind nicht besonders streng.

Abbildung 6: Logo-Dschungel der Umweltsiegel.

(Verändert nach Siebernd – VOM WALD ZUM BLATT and <https://www.regenwald-schuetzen.org/verbraucher-tipps/papier/umweltsiegel-fuer-papier/>, 22.03.2022)

TRAGT DEN CODE FÜR DAS **PINKE SCHLOSS** HIER EIN:

Summe der Kreuze für „wahr“ in Aufgabe 2 und der Anzahl der Papiermüllgegenstände aus Aufgabe 3	So oft kann Papier recycelt werden.	Nummer des Hefts aus 100% Altpapier

STATION 6: DER ÖKOLOGISCHE FUßABDRUCK

Unsere Art zu leben, beeinflusst nicht nur die Wälder, sondern hat Auswirkungen auf den gesamten Planeten. Der ökologische Fußabdruck wurde als eine Art Buchhaltungssystem für die Ressourcen¹ unserer Erde entwickelt. Die Angebotsseite umfasst alle Flächen des Planeten (Wälder, Felder, Seen, Flüsse, Meere, Wüsten, Weiden, Städte, Steppen und Straßen) und deren unterschiedlich hohe „biologische Produktivität“. Somit erhält man die sog. Biokapazität der Erde.

Dem gegenüber steht die Nachfrageseite, bei der berechnet wird, wie viel Biokapazität durch die Menschen in Anspruch genommen wird. Der ökologische Fußabdruck ist eine Hochrechnung, wie viele „Erden“ verbraucht werden würden, wenn die gesamte Menschheit so leben würde, wie die betrachtete Person.



- ✍️ **Aufgabe 1:** Füllt den Online-Fragebogen zum ökologischen Fußabdruck unter <https://www.footprintcalculator.org/home/de> aus. Notiert euch, welche Lebensbereiche abgefragt werden und wie viele Erden wir brauchen würden, wenn alle so wie du leben würden.



- 🗒️ **Aufgabe 2:** Bearbeitet den Fragebogen erneut. Dieses Mal variiert jede/r von euch **genau einen** Faktor, den ihr in eurem Leben auch wirklich beeinflussen könnt und von dem ihr denkt, dass dieser euren ökologischen Fußabdruck verringert. Diskutiert anschließend eure Ergebnisse!

- ✍️ **Aufgabe 3:** Notiert auf dem ausliegenden Plakat „So schrumpft mein ökologischer Fußabdruck:“ eine Verhaltensweise, die zur Verringerung des ökologischen Fußabdruckes beiträgt. (Das Plakat kann anschließend in der Schule/Klassenzimmer aufgehängt werden.)

- ✍️ **Aufgabe 4:** Alle Deutschen haben unabhängig von ihrem persönlichen Lebensstil automatisch einen Fußabdruck, der größer als eine Erde ist. Erkläre die Herkunft dieses Wertes kurz in eigenen Worten. (Tipp: Die Antwort findest du auf der Ergebnisseite! Öffne den gelben Umschlag, falls du es auf der Seite nicht öffnen oder finden solltest.)

LÖST DAS AUSLIEGENDE PUZZLE, TRAGT DEN CODE FÜR DAS HELLBLAUE SCHLOSS HIER EIN:

--	--	--


¹ „Hilfsmittel bzw. Reserven, die der Mensch für sein Überleben und seine wirtschaftliche Tätigkeit benötigt.“ <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/ressourcen/56391> (18.05.2022)

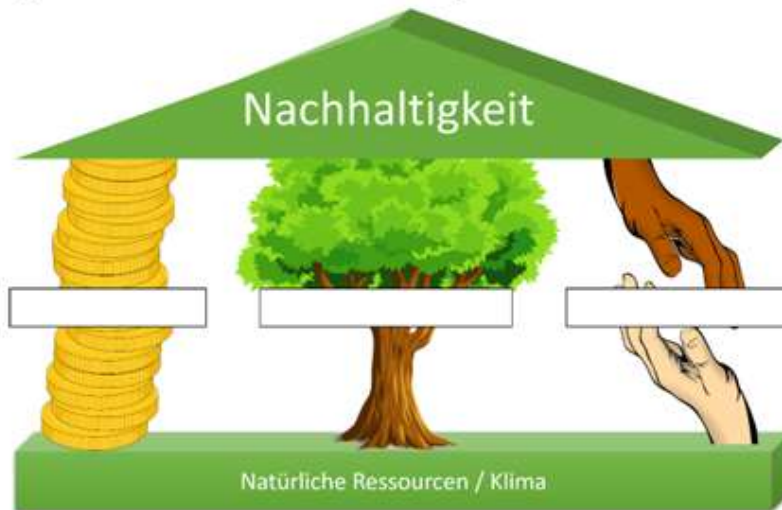
STATION 7: UMWELTBEMÜHUNGEN ODER NACHHALTIGKEITSSCHWINDEL? – DAS BEDEUTEN „NACHHALTIG“, „KLIMANEUTRAL“ UND „CO₂-NEUTRAL“

„CO₂-neutral“, „klimaneutral“ und „nachhaltig“ sind Schlagworte, mit denen heute fast jedes Unternehmen wirbt. Doch was bedeuten diese Begriffe eigentlich?

DAS DREI SÄULENMODELL DER NACHHALTIGKEIT

Nachhaltige Entwicklung bezeichnet eine dauerhafte Entwicklung, welche die Bedürfnisse der jetzigen Generation berücksichtigt. Ziel dieser Entwicklung ist es, dass die Möglichkeiten künftiger Generationen nicht gefährdet sind und diese ihre eigenen Bedürfnisse weiterhin befriedigen können. Das bedeutet, dass nicht nur die Kosten und der Gewinn bei wirtschaftlichen Entscheidungen berücksichtigt werden, sondern auch die Lebensbedingungen der Menschen. Daraus ergeben sich die drei Säulen der Nachhaltigkeit: *Umweltverträglichkeit*, *Sozialverträglichkeit* und *Wirtschaftlichkeit*.


 **Aufgabe 1:** Beschrifte die drei Säulen der Nachhaltigkeit.



 **Aufgabe 2:** Ordne die folgenden Nachhaltigkeitsaspekte den drei Säulen zu, indem du die Zettel in den entsprechenden Farben markierst. (*Wirtschaftlichkeit* orange, *Umweltverträglichkeit* grün, *Sozialverträglichkeit* blau).

Diskutiert und überprüft anschließend eure Lösung.



 **Aufgabe 3:** Lest den gekürzten Artikel von Werner Eckert (*Tagesschau, 30.08.2021 13:34 Uhr*) und markiert die wichtigsten Informationen.

Klimaneutral, CO₂-neutral - nicht egal

Plötzlich wollen alle „*klimaneutral*“ sein - Unternehmen, Staaten, Politik. Oft ist auch von „*CO₂-neutral*“ oder „*Treibhausgas-neutral*“ die Rede. Egal, Hauptsache neutral? Keineswegs. [...]

Das politische Ziel: weniger Treibhausgase

Im Pariser Klimaabkommen haben die Staaten festgelegt, dass sie so bald als möglich den Ausstoß an Treibhausgasen mindern wollen mit dem Ziel, ein Gleichgewicht zwischen menschengemachten Emissionen und dem Aufnahmevermögen zu erreichen. [...]

Das nennt sich dann "Net-Zero-Emissions" oder "Treibhausgas-Neutralität". Aber es gibt tatsächlich keine verbindlichen Definitionen für diese Begriffe in der klimapolitischen Debatte - weder im Paris-Abkommen noch sonst wo. Die Wissenschaft unterscheidet aber durchaus!

Treibhausgasneutral oder "Netto-Null-Emissionen"

Damit ist gemeint, dass die Summe an klimarelevanten Gasen in der Atmosphäre nicht mehr ansteigt. Das gilt für Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan, Lachgas sowie eine Reihe anderer Treibhausgase. Diese haben unterschiedlich starke Wirkungen aufs Klima und deshalb rechnet man sie jeweils auf CO₂-Einheiten um.

Man kann auf sehr verschiedenen Wegen dieses angestrebte Gleichgewicht erreichen. Etwa indem man ganz einfach aufhört, Kohle, Öl und Gas zu verbrennen, Moore trockenenzulegen oder Rinder zu halten. Oder indem man Moore wieder nass macht und Wälder aufforstet, um CO₂ wieder „einzufangen“. Auch technische Lösungen sind denkbar wie CCS (*carbon-capture-and-storage*), also die Abscheidung von CO₂ aus Abgasen mit anschließender Verdichtung und Wegsperrern in unterirdische Lager.

Dabei spielt es keine Rolle, welches Gas man jeweils vermeidet oder auffängt. Nur in Summe darf der Gehalt der Atmosphäre in CO₂-Einheiten umgerechnet nicht steigen. Wegen dieser Umrechnung entsteht leicht der Eindruck, dass CO₂-neutral dann das Gleiche sein müsste.

CO₂-neutral

Der Begriff ist nicht eindeutig und deshalb hat der Weltklimarat auch in seinem neuesten Sachstandsbericht darauf verzichtet. China hat für sich z.B. das Ziel ausgegeben, bis 2060 CO₂-neutral zu wirtschaften. Das sagt dann streng genommen nichts darüber aus, ob nicht die anderen Klimagase weiter steigen. [...]


Klimaneutral

Ist ein besonders gerne genutzter und gleichzeitig besonders schwammiger Begriff. Wissenschaftlich gesehen, ist das sogar eine noch strengere Vorgabe. Denn das würde bedeuten, dass nicht nur die Treibhausgase in ein Gleichgewicht kommen müssten, sondern auch alle anderen Effekte von menschlichem Handeln mit Klimawirkung betroffen wären. Beispielsweise auch die kühlende Wirkung von Aerosolen (= ein Gemisch aus festen oder/und flüssigen Schwebeteilchen und Luft) in Abgasen oder auch die wärmende von Kondensstreifen von Flugzeugen.

Tatsächlich aber wird „*klimaneutral*“ in der Werbung oft ganz anders benutzt.

Unternehmen sprechen oft davon, dass ihre Produktion klimaneutral sei, weil sie zwar weiter fröhlich Treibhausgase ausstoßen, aber durch Zahlungen dazu beitragen, dass anderswo auf der Welt welche reduziert werden. Dem Klima ist das zwar zunächst egal, wo es geschützt wird und das funktioniert anfangs ja auch, der Markt entscheidet, wo das am günstigsten möglich ist. Aber das ist kein Konzept für die Zukunft, denn wenn alle schnell und viel reduzieren müssen, hilft das nicht weiter.

https://www.tagesschau.de/land/11w21/klimaneutralheit_107.html, 09.02.2022)

 **Aufgabe 4:** Kreuzt die zutreffenden Aussagen an. Die in eckigen Klammern angegebenen Zahlen hinter den angekreuzten Aussagen sind wichtig für den Schlosscode.

Wenn ein Unternehmen CO₂-neutral produziert, dann ...

- stößt es bei der Herstellung seiner Produkte keine Treibhausgase aus. [5]
- ist die Produktion auch klimaneutral. [2]
- ändert sich der CO₂-Gehalt der Atmosphäre durch die Produktion insgesamt nicht. [8]
- dürfen weiterhin andere Treibhausgase ausgestoßen werden. [4]

Das Wort „klimaneutral“...

- kann bedeuten, dass Unternehmen unverändert weiterproduzieren und durch Zahlungen an bestimmte Projekte ihre Abgase „ausgleichen“. [3]
- bedeutet, dass z.B. bei der Produktion oder beim Transport keine Treibhausgase abgegeben werden. [6]
- bedeutet, dass kein Erdöl als Energiequelle verwendet wurde. [7]
- bedeutet, dass ausschließlich erneuerbare Energien genutzt wurden. [1]

TRAGT DEN CODE FÜR DAS SCHWARZE SCHLOSS HIER EIN:

Anzahl der grün markierten Zettel aus Aufgabe 2.	Größte angekreuzte Zahl aus Aufgabe 4.	Kleinste angekreuzte Zahl aus Aufgabe 4.

STATION 8: DIE SCHUTZFUNKTIONEN DES WALDES

Die Bäume der Wälder bieten nicht nur einen Lebensraum für viele Tiere, sondern erfüllen auch wichtige Schutzfunktionen. Wenn Wälder gerodet (= abgeholzt) werden, kann dies, je nach Region, verschiedene Naturereignisse zur Folge haben.



Aufgabe 1: Legt die Bildkarten vor euch auf dem Tisch aus und überlegt euch für welches Naturereignis bzw. für welche Schutzfunktion diese stehen könnten.



Aufgabe 2: Lest euch nun die Infotexte auf der Rückseite der Bildkarten abwechselnd vor und legt sie passend zu Abbildung 1 vor euch aus. Füllt die Lücken in Abbildung 1.



Aufgabe 3: Überprüft und verbessert eure Lösung. Schneidet die kleinen Bilder aus und klebt sie an den passenden Platz.



Abbildung 1: Schutzfunktionen des Waldes.

DIE FETTDRUCKTEN BUCHSTABEN AUF DREI DER INFOKARTEN ERGEBEN NACHEINANDER GELESEN ZAHLEN. AUFSTEIGEND ERGEBEN SIE DEN CODE FÜR DAS **GELBE SCHLOSS**:

--	--	--

STATION 9: UMWELTVERSCHMUTZUNG IM WALD

Wälder liefern den Menschen nicht nur Holz zum Bau von Möbeln. Sie sind auch als Erholungsort sehr beliebt. Das Verhalten einiger Menschen schadet jedoch dem Ökosystem Wald.

Aufgabe 1: Im Folgenden sind verschiedene Waldaktivitäten aufgelistet. Beurteilt, welche der Verhaltensweisen dem Wald schaden können. Streicht die falschen Verhaltensweisen durch (Lineal!).

Eine Gruppe Jugendlicher grillt in einer Waldlichtung.

Ein Mann beobachtet Wildtiere mit einem Fernglas.

Eine Gruppe Spaziergänger singt zu Musik aus einem Lautsprecher.

Ein Pärchen ritzt seine Anfangsbuchstaben und ein Herz in die Rinde eines Baumes.

Ein Kind pflückt einen Blumenstrauß für seine Mutter.

Ein kleiner Junge liest ein Buch auf einer Bank.

Ein älteres Ehepaar geht mit ihrem angeleinten Hund spazieren.

Ein Mädchen joggt auf dem Waldweg.

Eine Familie lässt nach einer üppigen Brotzeit ein paar Lebensmittelverpackungen zurück.

Aufgabe 2: Die ausliegenden Müllgegenstände brauchen unterschiedlich lange, bis sie im Wald abgebaut werden (oder in Kleinstpartikel, z.B. Mikroplastik, zerrieben wurden). Wie lange denkt ihr, dass es dauert, bis diese Gegenstände abgebaut sind? Die Lösung findet ihr auf den Gegenständen. Tragt die Abbaudauern in Tabelle 1 ein.

Aufgabe 3: „Den To-Go-Becher kannst du ruhig im Wald liegen lassen. Er besteht nur aus Papier und kann deshalb von den Bodenbewohnern schnell abgebaut werden.“ - Beurteile diese Aussage unter Verwendung von Abbildung 1 und Tabelle 1.

Überprüft abschließend eure Lösung!




Abbildung 1: Aufbau eines To-Go-Bechers.

Müll	Durchschnittliche Abbaudauer im Wald
Dünne Plastiktüte	
Apfelkerngehäuse	
Glasflasche	
Bananenschale	
Getränkedose	
Papiertaschentuch	
Getränkebecher	
Kaugummi	
Babywindel	
Zigarrettenstummel	
Alufolie	

Tabelle 1: Durchschnittliche Abbaudauer verschiedener Müllfundstücke im Wald. Die Abbaudauer variiert je nach Bodenbeschaffenheit und Witterungsverhältnissen.

(Quelle: https://www.suedwest.de/Service/DF/Service/publikationen/publikationen/publikation/wald.pdf?_blob=publicationFile&v=2, 09.04.2022; https://www.alsenversio.at/te-leisbruck_wassers/docs/verrottungstabelle_5Nov.pdf, 09.04.2022)

 **Aufgabe 4:** Entscheide mithilfe von Tabelle 1, welche der folgenden Aussagen wahr sind. Streiche falsche Aussagen und notiere die in eckigen Klammern stehenden Zahlen absteigend in die Codetabelle.

Eine Glasflasche, die zu Zeiten des Pharaos Tutanchamun (ca. 1800 vor Christus) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [2]



Einen Kaugummi, der zum Zeitpunkt der Euroeinführung in Deutschland (2002) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [4]



Einen Getränkebecher, der zum Zeitpunkt des Mauerfalls in Deutschland (1989) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [8]



Einen Zigarettenstummel, der in einen Wald geworfen wurde als die Raumsonde Philae zum ersten Mal auf einem Kometen landete (2014), könnte man heute noch finden. [7]



Eine Bananenschale, die zum Zeitpunkt der ersten Coronainfektion in Deutschland (27.1.2020) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [4]



Eine Plastiktüte, die in einen Wald geworfen wurde, als zum ersten Mal eine Frau Bundeskanzlerin wurde (Angela Merkel, 2005), könnte man heute noch finden. [1]



Eine Babywindel, die zu Zeiten von Leonardo da Vinci (1452-1519) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [5]



„Mona Lisa“ aus Leonardo da Vinci

TRAGT DEN CODE FÜR DAS LILA SCHLOSS HIER EIN:

Anzahl der falschen Verhaltensweisen aus Aufgabe 1.	Lösungszahlen in absteigender Reihenfolge aus Aufgabe 4	

ZUSATZSTATION: RÄTSEL

Hast du alle Stationen richtig gelöst und wartest nun darauf, dass die anderen Gruppen fertig werden? Dann verkürze die Wartezeit, indem du dein neues Wissen auf die Probe stellst und die folgenden Rätsel löst!

KNOBELAUFGABE 1: WORTSUCHE

Finde und markiere die fehlenden Wörter im Raster. Benutze sie, um die Lücken in den folgenden Sätzen zu füllen.

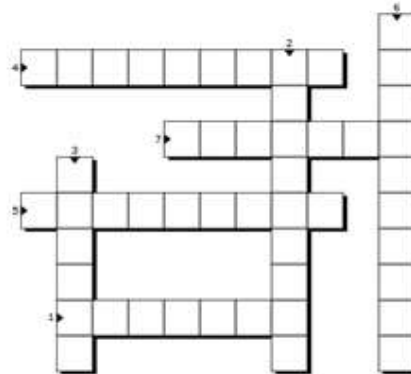
- Alle stehenden oder liegenden Bäume sowie alle abgebrochenen, die abgestorben sind, werden als _____ bezeichnet.
- Recyclingpapier wird hauptsächlich aus _____ hergestellt.
- Umwelt, Soziales und Wirtschaft sind die drei Säulen der _____.
- Durch die Wahl öffentlicher Verkehrsmittel anstelle des Autofahrens verkleinerst du deinen ökologischen _____.
- Der Blaue _____ ist auf Papierprodukten zu finden, die zu 100 % aus recyceltem Papier bestehen.
- Temperatur und Feuchtigkeit sind Beispiele für _____ Faktoren.
- Die zeitliche Abfolge der Pflanzenzusammensetzung eines Waldes nach einer Kahlschlag- oder Sturmschädigung wird als _____ bezeichnet.

O	B	J	G	Z	L	O	H	T	O	T	P	Y	K	L
M	C	W	D	A	C	K	H	H	Z	Y	P	B	S	N
G	H	L	Q	W	L	Y	T	F	R	U	K	K	R	A
F	I	X	K	C	U	R	D	B	A	S	S	U	F	C
V	S	U	K	Z	E	S	S	I	O	N	S	O	K	H
A	X	O	R	K	C	E	B	R	L	H	L	N	I	H
I	B	J	W	Z	J	N	A	C	U	V	Y	I	A	A
G	M	I	T	O	E	G	T	D	D	M	N	T	L	L
S	Z	U	O	A	F	E	Y	W	X	T	Y	O	T	T
Z	O	R	M	T	R	L	L	S	K	D	S	F	P	I
B	W	A	P	K	I	Q	X	G	A	I	F	Z	A	G
X	D	H	A	H	V	S	L	W	T	R	R	T	P	K
D	H	Y	F	D	T	U	C	N	E	L	V	Z	I	E
P	J	F	P	M	S	A	A	H	A	Q	V	E	E	I
S	E	R	U	T	D	U	H	U	E	H	Y	Z	R	T

NOBELAUFGABE 2: KREUZWORTRÄTSEL

Löse das Kreuzworträtsel, indem du die Hinweise 1.-7. verwendest. Jeder Hinweis beschreibt ein gesuchtes Wort, das in das entsprechende Feld eingetragen wird.

1. Die Wurzeln der Bäume verhindern Boden... .
2. Deine ..., z.B. ob du viel Fleisch isst, beeinflusst deinen ökologischen Fußabdruck.
3. Altpapier kann bis zu ... Mal recycelt werden.
4. Ein Lebensraum und alle darin lebenden Organismen werden als ... bezeichnet.
5. Raubtiere und Nahrung sind Beispiele für ... Faktoren.
6. Wenn Totholz zersetzt wird, werden ... in den Boden freigesetzt.
7. Die ersten Pflanzenarten, die sich in einem geräumten Gebiet etablieren, werden als ...arten bezeichnet.



NOBELAUFGABE 3: VIELE BILDER – EIN WORT

Finde das Wort, das durch diese vier Bilder dargestellt wird.



Lösung: _____

A.3 Lösungsheft für Lehrkräfte

LÖSUNG SHEFT FÜR LEHRKRÄFTE



RETTET DEN WALD

- löse alle Stationen und finde die Schlüssel
zum Schutz unserer Wälder

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
1. BENÖTIGTE MATERIALIEN	3
2. HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE	4
3. SCHLOSSCODES	5
4. MUSTERLÖSUNGEN	6
STATION 1: DER WALD – EIN WICHTIGES ÖKOLOGISCHES SYSTEM	6
STATION 2: DER STOCKWERKBAU DES WALDES	7
STATION 3: WELCHE BÄUME WACHSEN IM WALD?	8
STATION 4: STURMSCHÄDEN UND SUKZESSION	9
STATION 5: VOM BAUM ZUM HEFT ZUM EIERKARTON	10
STATION 6: DER ÖKOLOGISCHE FUßABDRUCK	11
STATION 7: UMWELTBEMÜHUNGEN ODER NACHHALTIGKEITSSCHWINDEL?	12
STATION 8: DIE SCHUTZFUNKTIONEN DES WALDES	13
STATION 9: UMWELTVERSCHMUTZUNG IM WALD	13
ZUSATZSTATION: RÄTSEL	15
5. WEITERE QUELLEN	16

1. BENÖTIGTE MATERIALIEN

Zweck	Material
Verschlussene Truhe (eine pro Gruppe)	1 kleine Kiste 1 Riegelverschluss 1 Sicherheitsriegel / Haspe 2 vierstellige Kombinationsschlösser 7 dreistellige Kombinationsschlösser Belohnung nach Wahl
Station 1	2-4 Schnurverbinde-Rätsel (laminierte Karte und je ein grünes und oranges Band / Wollgarn) 1 gelbes Kuvert mit Musterlösungen
Station 2	1 grünes Kuvert mit Informationskarten 1 gelbes Kuvert mit Musterlösungen 4 Messzylinder (50 ml) 2 Trichter 2 Kaffeefilterpapiere pro Gruppe 1 Stoppuhr Blumenerde Frisches Moos Kies
Station 3	4 Bestimmungsschlüssel 4 nummerierte Blätter der gewählten Bäume oder ausgedruckte Blattbilderkarten 1 Zuordnungstabelle 1 grünes Kuvert mit Informationskarten
Station 4	1 gelbes Kuvert mit Musterlösungen
Station 5	1 gelbes Kuvert mit Musterlösungen 1 Geheimtintestift mit Licht 1 Backpapier 1 Notizblock/Haftnotiz 1 Taschentuch 1 Kassenzettel (weiß) 1 Eierkarton 1 Löschpapier 1 Heft ohne Umweltsiegel (mit „3“ gekennzeichnet) 1 Heft mit FSC-Siegel (mit „2“ gekennzeichnet) 1 Heft mit „Blauer Engel“-Siegel (mit „1“ gekennzeichnet)
Station 6	1-4 Geräte mit Internetzugang (Tablet/Laptop/Smartphone) 1 Puzzle (doppelseitig bedruckte und laminierte Vorlage, entlang der Linien geschnitten) 1 Poster mit der Überschrift „So schrumpft mein ökologischer Fußabdruck...“
Station 7	1 gelbes Kuvert mit Musterlösungen
Station 8	1 grünes Kuvert mit Informationskarten 1 gelbes Kuvert mit Musterlösungen
Station 9	1 gelbes Kuvert mit Musterlösungen 1 Babywindel 1 dünner Plastikbeutel 1 Bild eines Apfelkerns 1 Foto einer Bananenschale 1 kleines Glasfläschchen 1 Softdrink-Dose 1 Taschentuch 1 Einwegbecher 1 Kaugummi 1 Zigarettenstummel 1 Stück Aluminiumfolie 11 kleine Aufkleber zum Kennzeichnen der Abfallgegenstände mit der Zersetzungsdauer
Arbeitsheft (eines pro Lernende/r)	Ausgedruckt oder als digitale Version für Tablets
Stationennummer-Karten (eine pro Station)	Ausgedruckt (idealerweise laminiert für bessere Haltbarkeit)

2. HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

KLASSENZIMMERVORBEREITUNG:

Drucken Sie die Arbeitshefte, Musterlösungen und Stationenmaterialien aus. Sind die Boxen mit den Zahlenschlössern und die Materialien für die Experimente vorbereitet, sollten Sie eine halbe Stunde für die Klassenzimmervorbereitung einplanen:

- Ein Tisch für jede Station (Idealerweise sind die Stationen 2, 5, 6 und 9 für große Klassen doppelt aufgebaut)
- Laptops/Tablets und die anderen Materialien platzieren
- Projektor starten und die erste Folie der PowerPoint-Präsentation für die Einführung projizieren (Achten Sie darauf, dass der Ton funktioniert.)

ANLEITUNG FÜR DIE LERNENDEN:

- Das Verfahren und die Verhaltensregeln sind im Arbeitsheft aufgeführt. Diese sollten einmal mit den Lernenden besprochen werden.
- Nach dem Öffnen der Schlösser sollten sie an den oberen Ring des Riegels gehängt werden, damit keines verloren geht. (siehe Bild)



- Wenn die Box geöffnet und die Belohnung entnommen wurde, sollten die Lernenden den Riegel und die Schlösser in die Box legen. Dies erleichtert das Nachfüllen.

3. SCHLOSSCODES

STATION 1: **ROTES SCHLOSS**

6	2	4	2
---	---	---	---

STATION 2: **GRÜNES SCHLOSS**

1	4	5
Anzahl der Stockwerke des Waldes	Max. Höhe der Krautschicht in m	Lichtintensität im Wald bei 1m über dem Boden in % (Aufgabe 7)

STATION 3: **DUNKELBLAUES SCHLOSS**

7	4	0	8
Baum 1	Baum 2	Baum 3	Baum 4

STATION 4: **SILBERNES SCHLOSS**

8	5	2
Ziffern auf Lösungskarte zu Aufgabe 1		Ziffer auf Lösungskarte zu Aufgabe 2

STATION 5: **PINKES SCHLOSS**

7	6	1
Summe der Kreuze für „wahr“ in Aufgabe 2 und der Anzahl der Papiermüllgegenstände aus Aufgabe 3	So oft kann Papier recycelt werden.	Nummer des Hefts aus 100% Altpapier

STATION 6: **HELLBLAUES SCHLOSS**

2	2	3
---	---	---

STATION 7: **SCHWARZES SCHLOSS**

4	8	3
Anzahl der grün markierten Zettel aus Aufgabe 2.	Größte angekreuzte Zahl aus Aufgabe 4.	Kleinste angekreuzte Zahl aus Aufgabe 4.

STATION 8: **GELBES SCHLOSS**

3	7	9
---	---	---

STATION 9: **LILA SCHLOSS**

5	7	4
Anzahl der falschen Verhaltensweisen aus Aufgabe 1.	Lösungszahlen in absteigender Reihenfolge aus Aufgabe 4	

4. MUSTERLÖSUNGEN

STATION 1: DER WALD – EIN WICHTIGES ÖKOLOGISCHES SYSTEM

AUFGABE 1

Abiotische Faktoren sind *Einwirkungen auf ein Lebewesen der nicht lebenden Umwelt, z.B. Temperatur, Wasser, Wind, Licht und Mineralstoffgehalt des Bodens.*

Biotische Faktoren sind *alle Einwirkungen auf einen Organismus, die von anderen Lebewesen ausgehen, z.B. Fressfeinde, Konkurrenten, Nahrung und Parasiten.*

AUFGABE 2



Abiotische Faktoren + Biotische Faktoren = Ökosystem

SCHNURVERBINDE-RÄTSEL

CODE FÜR DAS SCHLOSS:
Betrachte nur die Schnittstelle gleichfarbiger Schrägen. (Für die Hängungsschlüssel der Ziffern muss nur der Schriftfarbe überdient werden.) Lies die darunterliegenden Ziffern von oben nach unten.

AUFGABE:
Verbinde die deutschen Faktoren in alphabetischer Reihenfolge mit der Ziffernfolge und die zugehörigen Faktoren mit der orangefarbenen Schraube. Versuche jeweils zuerst mit „1704“!

	LICHT		ERDE		
	WASSER		WIND		
	STRABUNG		SCHADSTOFFE		
	BEWÄSSERUNG		MINERALSTOFFE		
	SAUERSTOFF		TEMPERATUR		
	BEWÄSSERUNG		MENSCH		

ORANGE:

Licht → Mineralstoffe → Sauerstoff → Schadstoffe → Strahlung → Temperatur → Wasser → Wind

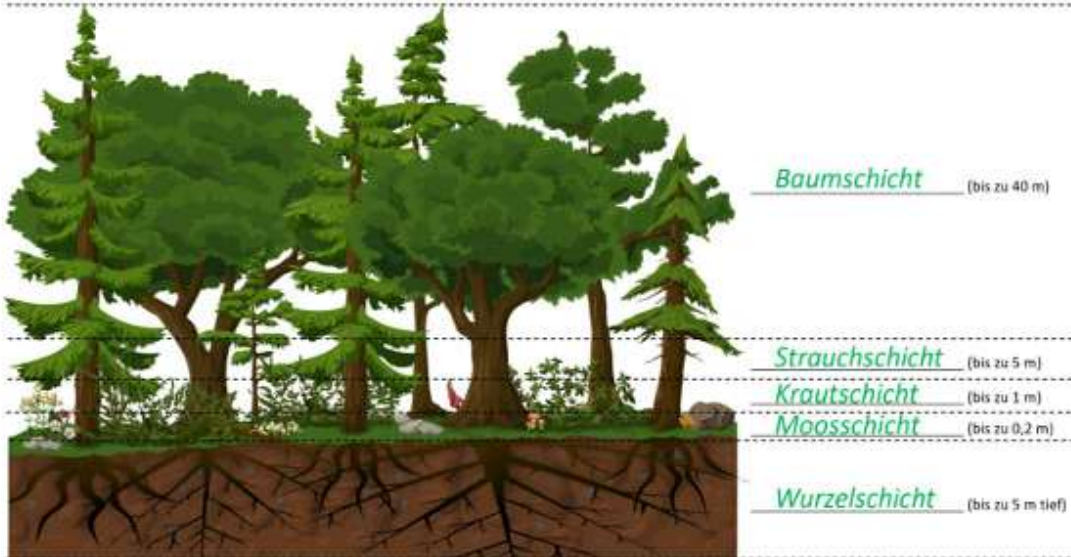
GRÜN:

Feinde → Konkurrenz → Mensch → Nahrung

CODE (ROTES SCHLOSS): 6 2 4 2

STATION 2: DER STOCKWERKBAU DES WALDES

AUFGABE 2



AUFGABE 6

Moosschicht → Die Pflanzen der Moosschicht speichern Wasser und schützen den Boden vor Austrocknung.

AUFGABE 7

16m → 100% Messung über Baumkronen, kein Licht absorbiert

4m → 22% Messung unter Baumkronen in Strauchschicht, Großteil des Lichts absorbiert

Generell gilt: Je näher am Waldboden, desto mehr Licht wird durch die Blätter der darüberliegenden Pflanzen absorbiert. 1m → 4%; 0,1m → 2%; 0,02 m → 0,1%

AUFGABE 8

Wenn die Laubbäume ihre Blätter entwickeln, gibt es nicht mehr genug Licht für das am Boden wachsende Buschwindröschen. Die Photosyntheseleistung ist zum Überleben nicht mehr ausreichend. Somit muss es sich vermehren, solange es genug Licht gibt.

STATION 3: WELCHE BÄUME WACHSEN IM WALD?

Wählen Sie eine der drei Optionen:

1. Codierungstabelle: Sammeln Sie frische Blätter der folgenden Baumarten und legen Sie diese in beschriftete Klarsichthüllen **oder** nutzen Sie die gedruckten Blattkarten.
 - Baum 1 = Sommerlinde (7)
 - Baum 2 = Stieleiche (4)
 - Baum 3 = Fichte (0)
 - Baum 4 = Bergahorn (8)

2. Codierungstabelle: Sammeln Sie frische Blätter der folgenden Baumarten und legen Sie diese in beschriftete Klarsichthüllen **oder** nutzen Sie die gedruckten Blattkarten.
 - Baum 1 = Kiefer (7)
 - Baum 2 = Winterlinde (4)
 - Baum 3 = Rotbuche (0)
 - Baum 4 = Eberesche (8)

3. Codierungstabelle: Wählen Sie selbst Blätter vierer Baumarten aus und legen Sie diese in beschriftete Klarsichthüllen.

Achtung: Die Codezahlen müssen folgendermaßen gewählt werden:

 - Baum 1: XY (7)
 - Baum 2: YZ (4)
 - Baum 3: ZX (0)
 - Baum 4: ZY (8)

Der Schlosscode muss immer **7408** bleiben. Die leere Codierungstabelle muss entsprechend vervollständigt werden.

CODIERUNGS-TABELLE 1:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
0	7	5	3	6	2	4	1	8
Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	8	7	6	5	4	3	2	1

Baum 1: Sommerlinde (7), Baum 2: Stieleiche (4), Baum 3: Fichte (0), Baum 4: Bergahorn (8) → Code: 7 4 0 8

CODIERUNGS-TABELLE 2:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
9	8	7	6	5	4	3	2	1
Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	6	7	0	5	8	3	8	1

Baum 1: Kiefer (7), Baum 2: Winterlinde (4), Baum 3: Rotbuche (0), Baum 4: Eberesche (8) → Code: 7 4 0 8

CODIERUNGS-TABELLE 3:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche

Baum 1: (7), Baum 2: (4), Baum 3: (0), Baum 4: (8) → Code: 7 4 0 8

STATION 4: STURMSCHÄDEN UND SUKZESSION

AUFGABE 1

Entscheide nun, welche zwei Lösungen sinnvoll sind. Notiere die Ziffern in der Code-Tabelle. Trage erst die große, dann die kleine Ziffer ein.

Es ist nicht sinnvoll alles zu entfernen, da Totholz wichtigen Lebensraum für verschiedene Lebewesen bietet und fördert somit die Artenvielfalt. Außerdem werden bei der Zersetzung des Totholzes Mineralstoffe freigesetzt und an den Boden abgegeben, was wiederum als Dünger für andere Waldpflanzen dient. (5)

Das Verrotten von Totholz zieht Mineralstoffe aus dem Boden und ist damit schädlich für die Wälder. Wenn es nicht entfernt wird, sinkt die Artenvielfalt. Somit muss Totholz schnellstmöglich aus dem Wald entfernt werden. (2)

Man sollte einen Teil des Totholzes entfernen, um weitere Schäden durch umstürzende Bäume oder mögliche Unfälle durch herumliegende Bäume zu vermeiden. Zudem sollte die Ausbreitung von Schädlingen überwacht werden (z.B. Borkenkäfer). (8)

Totholz verrottet sowieso und muss nicht entfernt werden. Das Entfernen mit Maschinen sowie der Abtransport verursachen unnötige Kosten und verbraucht fossile Brennstoffe. (7)

AUFGABE 2

Nach Sturmschlag liegt eine freie Fläche mit viel Licht vor. Diese Fläche wird im Anfangsstadium sehr schnell wieder besiedelt. Das schmalblättrige Weidenröschen kann sich hier sehr gut gegen konkurrierende Pflanzen durchsetzen, weil es in sehr kurzer Zeit sehr viele Samen bilden kann. Darüber hinaus können seine Samen durch ihren Haarschopf sehr weit mit dem Wind verbreitet werden. Das sind beides Vorteile, um auf neu freiwerdenden Flächen in sehr kurzer Zeit zu wachsen.

Die letzte Codeziffer erhältst du durch richtige Vervollständigung dies Satzes:

Das Weidenröschen ist eine typische Pflanze ...

... im Anfangsstadium der Sukzession. (2)

... in einem Folgestadium der Sukzession. (1)

... im Endstadium der Sukzession. (0)

STATION 5: VOM BAUM ZUM HEFT ZUM EIERKARTON

AUFGABE 2

Aussage	Wahr	Falsch	Keine Aussage möglich
Zur Herstellung von holzfreiem Papier wird kein Holz benötigt.		X	
Die Herstellung von 1 kg Primärfaserpapier (= neues Papier) benötigt 2,5-mal so viel Energie, wie für die Herstellung von 1 kg Recyclingpapier.	X		
Aus 1 kg Altpapier kann 1 kg Recyclingpapier hergestellt werden.		X	
Dem Zellstoffbrei müssen Zusatzstoffe, wie Leim und Farbstoffe beigegeben werden, damit das Papier die gewünschten Eigenschaften erhält.	X		
Von den 18 kg verbrauchten Hygienepapieren waren 10 kg Toilettenpapier, 5 kg Taschentücher und 3 kg Küchenrolle.			X
Pro Kilogramm reinem Recyclingpapier können 2,2 kg Holz eingespart werden.	X		
Der Pro-Kopf-Papierverbrauch der Deutschen lag im Jahr 2021 bei ca. 256 kg.	X		

AUFGABE 3

RESTMÜLL	PAPIERMÜLL
<ul style="list-style-type: none"> • verschmutzte Papierverpackung (z.B. Pizzakarton) • Serviette • verschmutzte Pappteller • Butterbrotpapier • Briefumschlag mit Luftpolsterfolie • Tapete • Aktenordner • beschichtetes Papier, Fotopapier (der Reiß-Test zeigt's) • Abzugstreifen von Selbstklebeetiketten • Klopapier • <i>Kassenzettel (Thermopapier)</i> • <i>Taschentuch</i> • <i>Backpapier</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitung • Zeitschrift • Katalog • Telefonbuch • Karton • Wellpappe • Bastelpapierreste • Schulhefte • Büro-/Kopierpapier • Buch (ohne Umschlag) • Durchschlagpapier • Briefumschlag (ohne Klebestreifen) • Tragetüte aus Papier • saubere Papierverpackungen • <i>Löschpapier</i> • <i>Eierkarton</i> • <i>Haftnotiz</i>

AUFGABE 4

Kreuze das Heft an, das aus 100% Altpapier besteht: Heft 1 Heft 2 Heft 3

STATION 6: DER ÖKOLOGISCHE FUßABDRUCK

AUFGABE 1

Wohnen, Ernährung, Fortbewegung / Mobilität, Konsum, Urlaub ...

AUFGABE 3 – BEISPIELE

Ernährung: Konsum tierischer Produkte verringern, regional/saisonal kaufen, weniger Lebensmittel wegwerfen, weniger tiefgekühlte / gekühlte Produkte kaufen

Mobilität: häufiger zu Fuß gehen oder Fahrradfahren, Fahrgemeinschaften, auf Fliegen verzichten

Konsum: gebraucht kaufen, weniger kaufen

Wohnen: nur so viel heizen wie nötig, Heizung aus beim Stoßlüften, energiesparende Geräte nutzen, elektrische Geräte abstecken, wenn sie nicht benötigt werden

AUFGABE 4

„Der ökologische Fußabdruck einer Person umfasst sowohl persönlichen als auch gesellschaftlichen Konsum. Der Fußabdruck, der mit Lebensmitteln, Mobilität und Gütern verbunden ist, lässt sich leichter durch die Wahl des Lebensstils beeinflussen. Der Fußabdruck einer Person umfasst jedoch auch gesellschaftliche Auswirkungen oder „Dienstleistungen“ wie Krankenhäuser und Schulen, Straßen und Infrastruktur, öffentliche Dienste und das Militär und die die Polizei des Landes. Allen Bürgern wird ein entsprechender Anteil an diesen gesellschaftlichen Auswirkungen zugewiesen. Wenn wir Nachhaltigkeit erreichen wollen, müssen wir uns sowohl auf unseren eigenen Lebensstil konzentrieren als auch unsere Regierungen beeinflussen.“

(→ Popuptext auf der Ergebnisseite, sollte zusammengefasst werden)

PUZZLE



STATION 7: UMWELTBEMÜHUNGEN ODER NACHHALTIGKEITSSCHWINDEL?

AUFGABE 1



AUFGABE 2



Häufig lassen sich diese Bereiche nicht scharf abgrenzen, wie z.B. der sparsame Einsatz von Ressourcen. So wird die Umwelt geschont (grün) und ist gleichzeitig wirtschaftlicher (gelb).

AUFGABE 4

Wenn ein Unternehmen CO₂-neutral produziert, dann ...

- stößt es bei der Herstellung ihrer Produkte keine Treibhausgase aus. [2]
- ist die Produktion auch klimaneutral. [2]
- ändert sich der CO₂-Gehalt der Atmosphäre durch die Produktion insgesamt nicht. [8]
- dürfen weiterhin andere Treibhausgase ausgestoßen werden. [4]

Das Wort „klimaneutral“ ...

- kann bedeuten, dass Unternehmen unverändert weiterproduzieren und durch Zahlungen an bestimmte Projekte ihre Abgase „ausgleichen“. [3]
- bedeutet, dass z.B. bei der Produktion oder beim Transport keine Treibhausgase abgegeben werden. [6]
- bedeutet, dass kein Erdöl als Energiequelle verwendet wurde. [7]
- bedeutet, dass ausschließlich erneuerbare Energien genutzt wurden. [1]

STATION 8: DIE SCHUTZFUNKTIONEN DES WALDES

AUFGABE 2:



STATION 9: UMWELTVERSCHMUTZUNG IM WALD

AUFGABE 1

~~Eine Gruppe Jugendlicher grillt in einer Waldlichtung.~~

~~Ein Mann beobachtet Wildtiere mit einem Fernglas.~~

~~Eine Gruppe Spaziergänger singt zu Musik aus einem Lautsprecher.~~

~~Ein Pärchen ritzt seine Anfangsbuchstaben und ein Herz in die Rinde eines Baumes.~~

~~Ein Kind pflückt einen Blumenstrauß für seine Mutter. Achtung: Es kommt natürlich immer darauf an, welche Blumen es sind (Stehen sie unter Naturschutz?) und wo du dich befindest (Bist du in einem Schutzgebiet?).~~

~~Ein kleiner Junge liest ein Buch auf einer Bank.~~

~~Ein älteres Ehepaar geht mit ihrem angeleinten Hund spazieren.~~

~~Ein Mädchen joggt auf dem Waldweg.~~

~~Eine Familie lässt nach einer üppigen Brotzeit ein paar Lebensmittelverpackungen zurück.~~

AUFGABE 2

Müll	Durchschnittliche Abbaudauer im Wald
Dünne Plastiktüte	20 Jahre
Apfelkerngehäuse	ca. 2 Monate
Glasflasche	mehr als 4000 Jahre
Bananenschale	1-2 Jahre
Getränkedose	50-500 Jahre
Papiertaschentuch	1-5 Jahre
Getränkebecher	ca. 50 Jahre
Kaugummi	3-5 Jahre
Babywindel	500-800 Jahre
Zigarettenstummel	2-7 Jahre
Alufolie	ca. 25 Jahre

(Sources: https://www.saarland.de/saarforst/DE/service/publikationen/publikationen/publ_sflmuellimwald.pdf?blob=publicationfile&v=2, 09.04.2022; https://www.alpenverein.at/1k-innsbruck_wAssets/docs/Verrottungstabelle-filled.pdf, 09.04.22)

AUFGABE 3

Diese Aussage ist falsch, da der Getränkebecher auf der Innenseite mit einer Plastikbeschichtung überzogen ist, damit das Papier nicht durchweicht. Daher braucht der Getränkebecher circa 50 Jahre, bis dieser abgebaut wird. Aus diesem Grund sollte man Getränkebecher nicht einfach liegen lassen.

(Tipp: Mehrwegbecher sind die umweltfreundlichste Wahl.)

AUFGABE 4

Eine Glasflasche, die zu Zeiten des Pharaos Tutanchamun (ca. 1800 vor Christus) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [2]

Einen Kaugummi, der zum Zeitpunkt der Euroeinführung in Deutschland (2002) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [4]. Achtung: Wenn Tiere die Kaugummis fressen, kann dies schädlich sein.

Einen Getränkebecher, der zum Zeitpunkt des Mauerfalls in Deutschland (1989) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [8]

Einen Zigarettenstummel, der in einen Wald geworfen wurde als Deutschland zum vierten Mal Fußballweltmeister wurde (2014), könnte man heute noch finden. [7]. Achtung: Wenn Tiere die Zigarettenstummel fressen, kann dies schädlich sein. In Zigaretten sind über 7000 Schadstoffe enthalten. Achtlos weggeworfen verunreinigt ein einziger Zigarettenstummel bis zu 1000 l Grundwasser!

Eine Bananenschale, die zum Zeitpunkt der ersten Coronainfektion in Deutschland (27.1.2020) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [4]

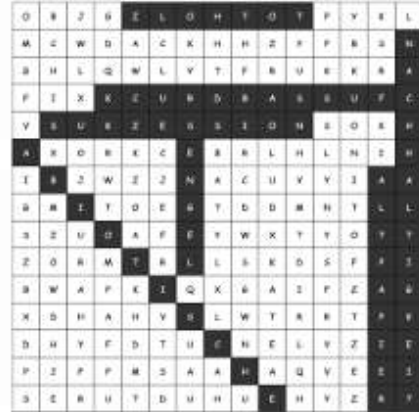
Eine Plastiktüte, die in einen Wald geworfen wurde, als zum ersten Mal eine Frau Bundeskanzlerin wurde (Angela Merkel, 2005), könnte man heute noch finden. [1]

Eine Babywindel, die zu Zeiten von Leonardo da Vinci (1452-1519) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [5]

ZUSATZSTATION: RÄTSEL

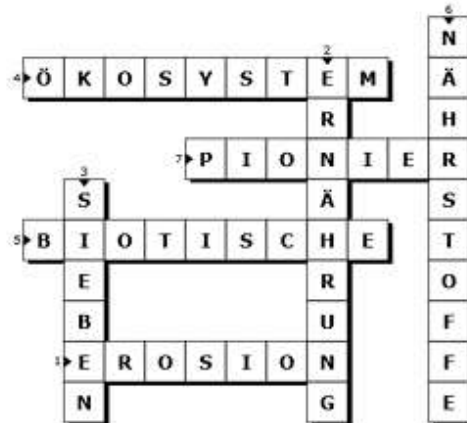
KNOBELAUFGABE 1: WORTSUCHE

- Alle stehenden oder liegenden Bäume sowie alle abgebrochenen, die abgestorben sind, werden als **Totholz** bezeichnet.
- Recyclingpapier wird hauptsächlich aus **Altpapier** hergestellt.
- Umwelt, Soziales und Wirtschaft sind die drei Säulen der **Nachhaltigkeit**.
- Durch die Wahl öffentlicher Verkehrsmittel anstelle des Autofahrens verkleinerst du deinen ökologischen **Fußabdruck**.
- Der Blaue **Engel** ist auf Papierprodukten zu finden, die zu 100 % aus recyceltem Papier bestehen.
- Temperatur und Feuchtigkeit sind Beispiele für **abiotische** Faktoren.
- Die zeitliche Abfolge der Pflanzenzusammensetzung eines Waldes nach einer Kahlschlag- oder Sturmschädigung wird als **Sukzession** bezeichnet.



KNOBELAUFGABE 2: KREUZWORTRÄTSEL

- Die Wurzeln der Bäume verhindern Boden...
- Deine ..., z.B. ob du viel Fleisch isst, beeinflusst deinen ökologischen Fußabdruck.
- Altpapier kann bis zu ... Mal recycelt werden.
- Ein Lebensraum und alle darin lebenden Organismen werden als ... bezeichnet.
- Raubtiere und Nahrung sind Beispiele für ... Faktoren.
- Wenn Totholz zersetzt wird, werden ... in den Bodenfreigesetzt.
- Die ersten Pflanzenarten, die sich in einem geräumten Gebiet etablieren, werden als ...arten bezeichnet.



KNOBELAUFGABE 3: VIELE BILDER – EIN WORT

Finde das Wort, das durch diese vier Bilder dargestellt wird.



Lösung: Entwaldung/Rodung/Kahlschlag etc.

5. WEITERE QUELLEN

Im folgenden sind alle Informationsquellen aufgeführt, die zur Erstellung der Unterrichtsmaterialien herangezogen wurden.

WEBSITES:

- <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/sukzession/11458> (26.02.22, 20:23h)
- <https://www.welt.de/wissenschaft/article189621151/Baeume-Junge-Waelder-binden-mehr-Kohlenstoff.html> (03.03.2022, 10:16h)
- <https://www.footprintcalculator.org/home/en> (03.03.2022, 12:38h)
- <https://www.regenwald-schuetzen.org/verbrauchertipps/papier/umweltsiegel-fuer-papier> (03.03.2022, 15:23h)
- <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/papier/30377.html> (06.04.2022, 11:05h)
- <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/papier/30384.html> (06.04.2022, 11:07h)
- https://www.suedwind.at/fileadmin/user_upload/suedwind/Bilden/Downloads-files_Downloads-Teaser/Vom_Wald_zum_Blatt-sc2.pdf (p.15; 06.04.2022, 11:10h)
- https://www.papierindustrie.de/fileadmin/0002-PAPIERINDUSTRIE/07_Dateien/XX-LB/PAPIER2021-digital.pdf (p.15; 06.04.2022, 11:20h)
- https://www.foep.info/dokumente/upload/6c397_kritischer_papierbericht_2013_neu.pdf (p.71; 06.04.2022, 11:26h)
- https://www.suedwind.at/fileadmin/user_upload/suedwind/Bilden/Downloads-files_Downloads-Teaser/Vom_Wald_zum_Blatt-sc2.pdf (07.04.22, 10:24h)
- https://www.die-bremer-stadtreinigung.de/sixcms/media.php/13/Unterrichtsmaterial_Papier-von%20Natur%20bis%20Kultur-min.pdf (07.04.22, 13:49h)
- <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/ressourcen/56391> (18.05.22, 15:48h)
- https://elsenbruch.info/ch10_papierherstellung.htm (24.01.23, 18:30h)
- <https://www.ecolabelindex.com/ecolabels/?st=country,us> (24.01.23, 20:12h)
- <https://www.cityoflagunaniguel.org/ImageRepository/Document?documentID=13712> (24.01.23, 20:34h)

BÜCHER UND PAPERS:

- Bauer, J. et al (2020). *Natura 8 – Biologie für Gymnasien* (1. Aufl.). Ernst Klett Verlag (S.102 f, 106, 108, 113, 118 f.)
- Freimann, T. et al (2019). *Fokus Biologie 8 – Gymnasium Bayern* (1. Aufl., Prüfaufgabe). Cornelsen Verlag (S. 114)
- Hausfeld, R. et al (2020) *Bioskop 8 – Gymnasium Bayern* (1. Aufl.). Westermann Verlag (S. 100, 104 f., 112 f., 116 f., 120 f., 126 f.)
- Finger, F. et al (2019) *Biologie heute 8 - Bayern* (1. Aufl., Prüfaufgabe). Westermann Verlag (S. 136 f., 166)
- Schmidt, M. et al (2020) *Biologie 8 – Gymnasium Bayern* (1. Aufl.). C.C. Buchner Verlag (S. 165, 176, 178-189)
- Pugh, T. A. M. et al. Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* **2019**, *10*, 4382-4387, DOI: 10.1073/pnas.1810512116

A.4 Zusätzliche Lehrmaterialien

Infokarten (mit Druckanleitungen)

Station 1: Schnurverbinderätsel

1. Drucken Sie die folgende Seite aus (Din A4).
2. Schneiden Sie entlang der äußeren Linien.
3. Falten Sie entlang der Mittellinie.
4. Laminieren Sie die gefaltete Vorlage.
5. Schneiden Sie die laminierte Vorlage so aus, dass ein kontinuierlicher, ca. 3 mm breiter Folienrand bleibt. (Andernfalls halten die beiden Seiten des Schnur-Spieles nicht zusammen.)
6. Schneiden Sie an den vorgesehenen Stellen Einkerbungen für die Schnüre.
7. Stanzen Sie das Loch aus und befestigen Sie eine gelbe und eine grüne Schnur.

1

CORE FÜR DAS SCHLÜSSEL: Betrachten Sie die Schnurpunkte gleichfarbiger Schnüre. (Tipp: Die Haken an der Spitze der Ziffern müssen mit der Schnurfarbe übereinstimmen.) Lies die durchnummerierten Ziffern von oben nach unten.

AUFGABE: Verbinde die **biologischen Faktoren** in alphabetischer Reihenfolge mit der **gelben** Schnur und die **abiotischen Faktoren** mit der **grünen** Schnur. Verbinde jeweils **mindestens zwei** Ziffern.

Labels: LICHT, FEINDE, WASSER, WIND, STRABLUNG, SCHARBSTOFFE, NÄHRUNG, MINERALSTOFFE, SAUERSTOFF, TEMPERATUR, KÖRPERWÄRME, MENSCH, FAHRE.

2

Station 2: Infokarten Stockwerkbau Wald

1. Drucken Sie die folgende Seite (DinA4) aus.
2. Laminieren Sie die Seite und schneiden Sie die Karten zu.

3

MOOSSCHICHT: Die Pflanzen der Moosschicht und die Fruchtkörper der Pilze sind der Lebensraum vieler Insekten, Spinnen und Schnecken. Die feuchte Moosschicht dient ihnen als Unterschlupf und Nahrungsquelle.

HUMUSSCHICHT: Durch Zersetzung von totem Tier- und Pflanzenmaterial (tote Tiere, Kot, Blätter, abgebrochene Äste...) bilden Kleintiere wie Regenwürmer oder Tausendfüßer mineralstoffreichen Humus. Die tiefen Wurzeln der Bäume verhindern dabei eine Abtragung des wertvollen Bodens (Erosion).

KRAUTSCHICHT: Zu dieser sehr artenreichen Schicht gehören alle Pflanzen, die knapp über dem Boden wachsen, wie z.B. Scharbockskraut, Bärlauch, Aronstab oder Farn.

STRAUSSCHICHT: Hier findet man Kletterpflanzen, wie z.B. Efeu, aber auch verschiedene Sträucher, wie z.B. Hasel und Holunder. Diese Pflanzen dienen als Windschutz und leisten so einen wichtigen Beitrag, um die Austrocknung des Waldbodens zu verhindern.

BAUMSCHICHT: Die Baumkronen bilden eine wichtige Nahrungsgrundlage und diverse Rückzugsmöglichkeiten für viele Vögel und kleine Säugetiere, wie z.B. Eichhörnchen. In mehreren Metern Höhe betreiben die Blätter der Buchen, Eichen und Fichten Photosynthese.

4

Station 3: Infokarten für die Baumbestimmung

1. Drucken Sie die folgenden Seiten (4 Folien auf eine Seite, einseitig, DinA4).
2. Laminieren Sie die Karten und schneiden Sie diese zu.

Infoquellen:
<https://www.waldhilfe.de/waldbaeume-die-wichtigsten-bauarten-in-deutschland/>
<https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/baeume-und-waldpflanzen>

5

MERKSPRUCH: „Die Fichte sticht, die Tanne nicht.“

DIE FICHTE
 Die Gemeine Fichte benötigt viel Wasser, relativ wenig Licht und kommt bei uns in Deutschland vor allem im Bergland vor. Ihre Nadeln stecken und ihre Zapfen hängen nach unten. Die Bäume bilden nur flache Wurzeln aus, daher können Stürme in reinen Fichtenwäldern große Schäden anrichten. An trockenen und warmen Standorten ist die Fichte außerdem besonders anfällig für Borkenkäfer.
 Dennoch wird die Fichte gern auch außerhalb ihres natürlichen Lebensraums gepflanzt, da sie schnell wächst und ihr Holz ist vielseitig einsetzbar ist.

Bild von Artur Pawlak auf Pixabay

6



DIE TANNE

Die Tanne benötigt nur wenig Licht und ist deshalb ausgesprochen gut geeignet, um in Mischwäldern die Strukturvielfalt zu erhöhen. Ihre Nadeln stechen nicht und ihre Zapfen stehen nach oben.
Die Tanne ist beständiger gegenüber Trockenheit als die Fichte. Dennoch sollte für ein optimales Wachstum eine gute Wasserversorgung im Boden gegeben sein. Da die Tanne sehr temperatur- und trockenheitsbeständig ist und über starke und tiefreichende Wurzeln verfügt, wird sie als wichtige Baumart für die zukünftigen Wälder im Klimawandel gesehen.

MERKSPRUCH:
„Die Fichte sticht, die Tanne nicht.“

7



DIE LÄRCH

Die Lärche ist der einzige europäische Nadelbaum, der im Winter seine Nadeln abwirft. Auf den Ästen sitzen viele Nadelbündel, die aus 10-60 Nadeln bestehen. Die Lärche ist eigentlich eine Gebirgspflanze. Da sie schnell wächst und ihr Holz als Baustoff sehr geschätzt wird, kommt sie auch in vielen Wirtschaftswäldern vor. Als Lichtbaumart benötigt die Lärche viel Platz zum Wachsen, sonst wird sie von anderen schattentoleranteren Baumarten verdrängt.

Bilder von iStockphoto und anonym auf Pixabay

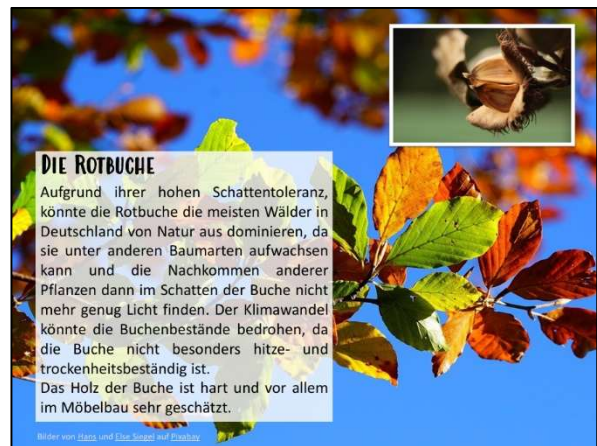
8



DIE KIEFER

Die Gemeine Kiefer ist eine sehr robuste Baumart, die nur wenig Nährstoffe benötigt. Außerdem verträgt sie Trockenheit und Hitze genauso gut wie sehr tiefe Temperaturen. Eine zu hohe Bodenfeuchtigkeit und Überschwemmungen toleriert sie hingegen nicht. Ihre Nadeln sitzen immer paarweise an einer Basis.
Kiefernholz lässt sich ebenfalls vielseitig einsetzen, weswegen sie in den vergangenen Jahren an für die Fichte zu trockenen Standorten gepflanzt wurde.

9



DIE ROTBUCH

Aufgrund ihrer hohen Schattentoleranz, könnte die Rotbuche die meisten Wälder in Deutschland von Natur aus dominieren, da sie unter anderen Baumarten aufwachsen kann und die Nachkommen anderer Pflanzen dann im Schatten der Buche nicht mehr genug Licht finden. Der Klimawandel könnte die Buchenbestände bedrohen, da die Buche nicht besonders hitze- und trockenheitsbeständig ist. Das Holz der Buche ist hart und vor allem im Möbelbau sehr geschätzt.

Bilder von iStock und Pixabay

10



DIE STIELEICHE

Wie alle Eichenarten braucht auch die Stieleiche viel Licht, weshalb sie auf Dauer von Buchen verdrängt werden. Aus diesem Grund kommen Eichen von Natur aus an Orten vor, die der Buche zu trocken oder zu nass sind.
Für viele hundert Insektenarten ist die Eiche eine bedeutende Baumart und ist deshalb auch von großem ökologischem Wert. Eichen wachsen zwar verhältnismäßig langsam, können aber bei guter Qualität hohe Holzpreise erzielen.

11



DIE HAINBUCH

Die Hainbuche ist, anders als ihr Name vermuten lässt, keine Buche. Sie ist viel näher mit der Birke oder der Haselnuss verwandt. Aus ökologischer Sicht betrachtet, nimmt sie aber eine ähnliche Stellung wie die Buche ein. Sie ist relativ schattentolerant, wodurch sie konkurrenzstark gegenüber anderen Baumarten ist.

12



DIE EBERSESCHE („VOGELBEERE“)

Der Name „Eberesche“ lässt sich von „eber = aber = falsch“ ableiten und deutet somit auf „Falsche Esche“ hin. Die gefiederten Blätter dieser beiden Baumarten sind sich auf den ersten Blick sehr ähnlich. Sie wird auch Vogelbeere genannt, da ihre roten Früchte gerne von Vögeln und anderen Wildtieren gefressen werden. Die Eberesche ist eine typische Pionierbaumart, die oft auch an Waldrändern zu finden ist. Sie ist relativ tolerant gegenüber Nässe und Trockenheit und wächst sowohl auf nährstoffarmen als auch nährstoffreichen Böden.

13



DIE ESCHÉ

Die gefiederten Blätter der Esche sehen den Blättern der Eberesche („falsche Esche“) auf den ersten Blick sehr ähnlich. Sie sind jedoch größer und nicht behaart. Eschenholz zählt zu den festen und tragfähigsten Hölzern. Außerdem lässt es sich gut verarbeiten, weshalb es beispielsweise für Sportgeräte, wie Ski, Schlitten, Barrenholme, Ruder, Speere und Bögen verwendet wird.

14



DIE WARZENBIRKE (= HÄNGBIRKE)

Birken sind typische Pionierbaumarten. Da sie viel Licht benötigen, sind sie in dichten Wäldern nicht konkurrenzfähig. Birkenarten erkennt man leicht an ihrer hellen, fast weißen Rinde. Ihre Äste sind lang und hängen im Alter herab (Hängebirke). Die Blätter sind rautenförmig und haben einen doppelt gesägten Blattrand.

15



DIE SOMMERLINDE

Lindenarten erkennt man leicht an ihren herzförmigen Blättern. Lindenblüten finden Verwendung als Erkältungstees. Sie sind aber auch eine wichtige Nektarquelle für Bienen (Basis für Lindenblütenhonig). Die Blätter der Sommerlinde sind etwa 8-12 cm lang und beiderseits samtig behaart. Ihre Achselbärte (an den Abzweigungen der Blattadern) sind weiß und verfärben sich im Spätsommer bräunlich. So kann man sie von den auf der Oberseite unbehaarten, kleineren (4-7 cm) Blättern der Winterlinde unterscheiden. Die Achselbärte der Winterlinde sind braun.

16



DIE WINTERLINDE

Lindenarten erkennt man leicht an ihren herzförmigen Blättern. Lindenblüten finden Verwendung als Erkältungstees. Sie sind aber auch eine wichtige Nektarquelle für Bienen (Basis für Lindenblütenhonig). Die Blätter der Winterlinde sind etwa 4-7 cm lang, ledrig mit einer blau- bis graugrünen Unterseite. Das Blatt ist auf der Oberseite kahl, während die Unterseite mit bräunlichen Achselbärten (an den Abzweigungen der Blattadern) versehen ist. So kann man sie von den beidseitig behaarten, größeren (8-12 cm) Blättern der Sommerlinde unterscheiden. Die Achselbärte der Sommerlinde sind außerdem weiß und färben sich erst zum Spätsommer bräunlich.

17



DIE SUMPFEICHE

Die Sumpfeiche stammt aus dem östlichen Nordamerika. In Deutschland findet man sie oft in Parks und Alleen als Zierpflanze. Die Blätter gliedern sich klar in den 2-6 cm langen Blattstiel und die bis zu 16 cm lange Blattspreite.

18



DIE TRAUBENEICHE

Die Traubeneiche ist die am weitesten verbreitete Eichenart in Mitteleuropa. Ihre Blätter sind 8-12 cm lang und 5-7 cm breit und haben einen 1 bis 3 cm langen Blattstiel. Die kleinen Eicheln sind traubenförmig angeordnet. Die Traubeneiche benötigt nur wenig Mineralstoffe, wird in Wäldern jedoch von schattoleranteren Arten, wie die Rotbuche, verdrängt.

19



DER BERGAHORN

Gut mit Wasser versorgte Standorte werden vom Bergahorn bevorzugt. Er ist relativ schattentolerant, wodurch er konkurrenzstark gegenüber anderen Baumarten ist. Mit seinem leicht abbaubaren Laub fördern er die Humusbildung und ist somit wertvoll für den Erhalt eines gesunden Waldbodens. Sein Holz ist außerdem beliebt in der Möbelindustrie.

20



DER SPITZAHORN

Der Spitzahorn wird bis zu 200 Jahre alt und erreicht eine Höhe von ca. 30 m. Er benötigt nur wenig Wasser und ist relativ schattentolerant. Seine Blätter werden bis zu 20 cm groß und sind handförmig.

21



DER FELDAHORN

Der Feldahorn wächst langsam und strauchförmig. Er kommt meistens an Waldrändern, in Hecken sowie an Straßenrändern oder in Parks vor. In geschlossenen Waldbeständen findet man ihn selten, da er weniger schattentolerant ist als andere Waldbaumarten.

22



DIE SCHWARZPAPPEL

Sie ist eine charakteristische Baumart der Flussauen. Ursprünglich war sie weit verbreitet, inzwischen ist sie jedoch stark gefährdet. Der Flaum ihrer Samen kann als Daunenersatz für Kissen und Decken verwendet werden (s. Bild).

23



DIE SCHWARZERLE

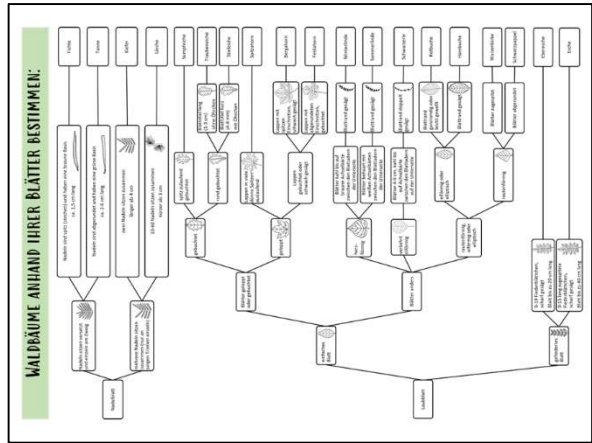
Die Schwarzerle hat dunkles Holz und ist an die Nähe zum Wasser angepasst. Optimal ist für sie daher in erster Linie ein reichlich mit Wasser versorgter Boden und relativ viel Licht. Schwarzerlenwälder werden auch Erlen-Bruchwälder genannt, weil die Bäume immer wieder umbrechen und neu aus ihrem Wurzelstock austreiben.

24

Station 3: Bestimmungsschlüssel

Drucken und laminieren Sie die folgende Seite 3-4-mal (DinA4).

25



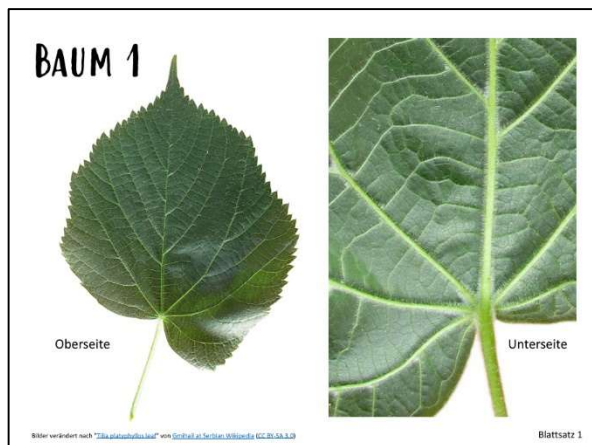
26

Station 3: Blattkarten (Ersatz für frische Blätter)

1. Drucken Sie die folgenden Seiten (2 Folien auf eine Seite, einseitig, DinA4).
2. Laminieren und schneiden Sie die Ausdrücke zu.

- Blattsatz 1 passend zur Codierungstabelle 1
- Blattsatz 2 passend zur Codierungstabelle 2

27



28



29



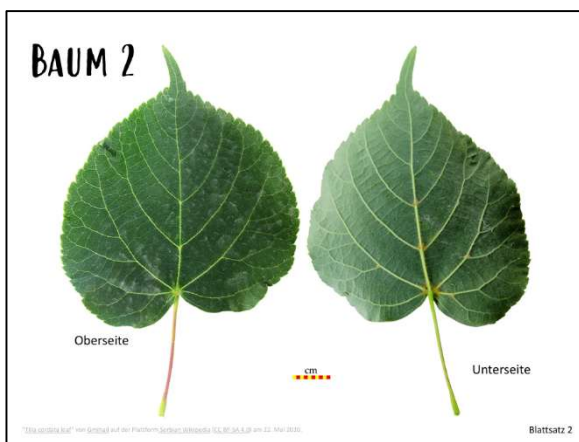
30



31



32



33



34



35

Station 3: Codierungstabellen

Wählen Sie ein der folgenden Optionen:

- Vorgefertigte Codierungstabelle: Sammeln Sie frische Blätter der folgenden Baumarten und legen Sie diese in entsprechend nummerierte Klarsichthüllen **oder** verwenden Sie die Blattbestimmungskarten (Blattsatz 1 oder 2).

• Baum 1 = Sommerlinde (7)	• Baum 1 = Kiefer (7)
• Baum 2 = Stieleiche (4)	• Baum 2 = Winterlinde (4)
• Baum 3 = Fichte (0)	• Baum 3 = Rotbuche (0)
• Baum 4 = Bergahorn (8)	• Baum 4 = Eberesche (8)
- Eigene Codierungstabelle: Wählen Sie Blätter von vier Baumarten des Bestimmungsschlüssels aus. Legen Sie die Blätter in entsprechend nummerierte Klarsichthüllen.

Achtung: Die Codeziffern müssen für die Baumarten wie folgt zu geordnet werden:

 - Baum 1: XY (7)
 - Baum 2: YZ (4)
 - Baum 3: ZX (0)
 - Baum 4: ZY (8)

Der Schlosscode muss immer **7 4 0 8** bleiben. Die leere Codierungstabelle muss entsprechend ausgefüllt werden.

36

Anhang

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
0	7	5	3	6	2	4	1	8

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	8	7	6	5	4	3	2	1

Baum 1: Sommerlinde (7), Baum 2: Stieleiche (4), Baum 3: Fichte (0), Baum4: Bergahorn (8) → Code: 7 4 0 8

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
9	8	7	6	5	4	3	2	1

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	4	7	0	5	8	3	8	1

Baum 1: Kiefer (7), Baum 2: Winterlinde (4), Baum 3: Rotbuche (0), Baum4: Eberesche (8) → Code: 7 4 0 8

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche

Baum 1: (7), Baum 2: (4), Baum 3: (0), Baum4: (8) → Code: 7 4 0 8

37

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
0	7	5	3	6	2	4	1	8

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	8	7	6	5	4	3	2	1

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
9	8	7	6	5	4	3	2	1

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	4	7	0	5	8	3	8	1

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche

38

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
0	7	5	3	6	2	4	1	8

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	8	7	6	5	4	3	2	1

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn
9	8	7	6	5	4	3	2	1

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche
9	4	7	0	5	8	3	8	1

CODIERUNGS-TABELLE:

Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche	Sumpfeiche	Traubeneiche	Stieleiche	Spitzahorn	Bergahorn

Feldahorn	Winterlinde	Sommerlinde	Rotbuche	Hainbuche	Warzenbirke	Schwarzpappel	Eberesche	Esche

39

Station 6: Ökologischer Fußabdruck - Puzzle

- Die folgenden beiden Seiten sind Vorder- und Rückseite.
- Drucken Sie sie beidseitig (DIN A4) aus und laminieren Sie sie.
- Schneiden Sie entlang der gestrichelten Linien.

40



41

UM LANGFRISTIG NICHT MEHR AUF KOSTEN DER NÄCHSTEN GENERATIONEN ZU LEBEN, DÜRFT DER ÖKOLOGISCHE FUßABDRUCK ALLER MENSCHEN HÖCHSTENS...

... SO VIEL WIE HEUTE BETRAGEN.

729

223

... 1 BETRAGEN.

745

... 1,4 BETRAGEN.

868

... 0,8 BETRAGEN.

534

... 2 BETRAGEN.

42

Station 6: Der ökologische Fußabdruck - Poster (DinA3)

Drucken Sie eine der folgenden beiden Seiten aus (DinA3).

43



44



45

Station 8: Schutzfunktionen - Infokärtchen

- Die folgenden vier Seiten sind jeweils Vorder- und Rückseite.
- Drucken Sie sie beidseitig aus, laminieren Sie die Seiten und schneiden Sie entlang der Linien.

46



47

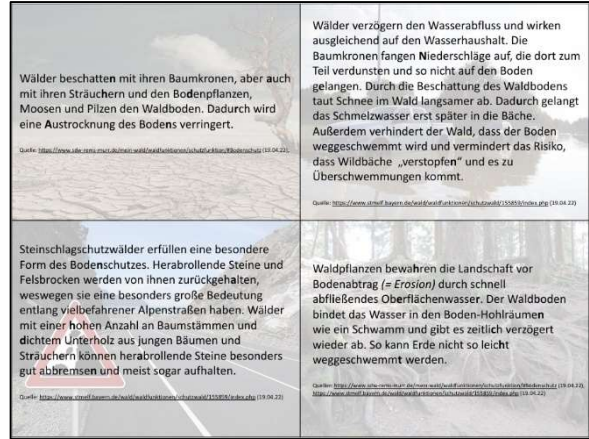
<p>Wälder filtern Treibhausgase, wie Kohlenstoffdioxid, gesundheitsschädliche Gase und (Fein-)Staub aus der Luft. Ein hundertjähriger Baum kann bis zu eine Tonne Staub pro Jahr binden. Somit sind Wälder wichtig im Kampf gegen die zunehmende Luftverschmutzung.</p> <p><small>Quelle: https://www.globe-matters.com/de/press-and-outlook/press-releases/for-forest-ecosystems/19-04-20</small></p>	<p>In Wäldern verdunsten große Mengen von Wasser. Für den Aggregatzustandswechsel von flüssig nach gasförmig ist Energie nötig. Diese wird der Umgebung entzogen, wodurch die Umgebung abkühlt (Verdunstungskälte). Du kannst besonders an heißen Sommertagen spüren, dass es im Waldinneren angenehm kühl ist. Das Waldinnenklima gleicht tägliche und jährliche Temperaturschwankungen aus, erhöht die Luftfeuchtigkeit und steigert die Taubildung.</p> <p><small>Quelle: https://www.globe-matters.com/de/press-and-outlook/press-releases/for-forest-ecosystems/19-04-20</small></p>
<p>Bestimmte Gase in der Atmosphäre sorgen dafür, dass Wärmestrahlung nicht einfach in das Weltall abgegeben wird, wodurch unsere Erde weniger leicht abkühlt. Diese Gase erfüllen somit eine ähnliche Funktion wie ein Treibhaus und werden daher auch Treibhausgase genannt. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe (z.B. Benzin) in Autos, Flugzeugen und Fabriken setzt das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid frei. Dadurch wird die Treibhauswirkung größer und die Erde immer wärmer. Die Waldpflanzen binden bei der Photosynthese Kohlenstoffdioxid und wirken so der globalen Klimaerwärmung entgegen.</p> <p><small>Quelle: https://www.globe-matters.com/de/press-and-outlook/press-releases/for-forest-ecosystems/19-04-20</small></p>	<p>Das weitverzweigte Wurzelnetz der Bäume gibt dem Boden Halt. So verringern Wälder die Gefahr von Bodenrutschungen. Diese Funktion ist umso wichtiger, je steiler ein Standort ist. Vor allem im Hochgebirge sind intakte Nadelmischwälder der wirksamste Schutz vor Geröllerosion (Muren) und Schneelawinen.</p> <p><small>Quelle: https://www.globe-matters.com/de/press-and-outlook/press-releases/for-forest-ecosystems/19-04-20</small></p>

48

Anhang



49

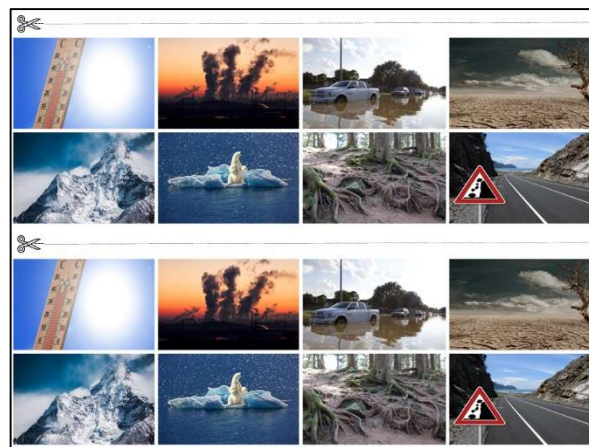


50

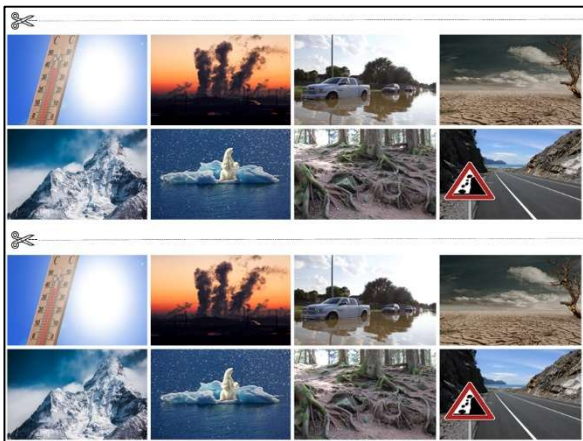
Station 8:
Abbildungen für die Lernenden

- Drucken Sie die beiden folgenden Seiten (2 Folien auf einer Seite, einseitig, DinA4).
- Schneiden Sie diese entlang der gestrichelten Linie zu.
- Pro gedruckte Seite erhalten Sie so vier Zuschnitte mit je sechs verschiedenen Bildern. Diese können die Lernenden dann in ihr Arbeitsheft kleben.

51



52



53

Station 9: Verschmutzung im Wald

- Die nachfolgenden Bilder können als Ersatz für die tatsächlichen Müllgegenstände verwendet werden. Drucken und laminieren Sie dafür die beiden folgenden Seiten und schneiden Sie diese zu.
- Schreiben Sie die Abbaudauern der Müllgegenstände auf die Kartenrückseite.

Müllgegenstand	Abbaudauer im Wald
Dünne Plastiklücke	20 Jahre
Apfelferngehäuse	ca. 2 Monate
Glasflasche	> 4000 Jahre
Bananenschale	1-2 Jahre
Getränkedose	50-500 Jahre
Papiertaschentuch	1-5 Jahre
Einweg-Getränkebecher	ca. 50 Jahre
Kaugummi	3-5 Jahre
Babywindel	500-800 Jahre
Zigarettenstummel	2-7 Jahre
Alufolie	ca. 25 Jahre

54



55



56

Stationenschilder

1. Drucken Sie die folgenden Seiten (2 Folien auf einer Seite, einseitig, DinA4).
2. Laminieren Sie die Ausdrücke für Langlebigkeit.
3. Schneiden Sie die Karten aus.

57



58



59



60



61



62



63



64



65



66

Nachrichten für die Kisten:

1. Drucken Sie die folgenden Seiten.
2. Laminieren Sie die Ausdrücke für Langlebigkeit.
3. Schneiden Sie die Karten aus.
4. Platzieren Sie eine der Karten in jede Kiste.

67

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

68

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

**HERZLICHEN
GLÜCKWUNSCH !**

Ihr habt alle Stationen erfolgreich gelöst und die Schlüssel zum Schutz unserer Wälder gefunden. Dafür habt ihr euch eine kleine Belohnung verdient.

69

Lösungskarten

LÖSUNG STATION 1: AUFGABE 1

Abiotische Faktoren sind *Einwirkungen auf ein Lebewesen der nicht lebenden Umwelt, z.B. Temperatur, Wasser, Wind, Licht und Mineralstoffgehalt des Bodens.*

Biotische Faktoren sind *alle Einwirkungen auf einen Organismus, die von anderen Lebewesen ausgehen, z.B. Fressfeinde, Konkurrenten, Nahrung und Parasiten.*

LÖSUNG STATION 1: AUFGABE 2



Abiotische Faktoren +

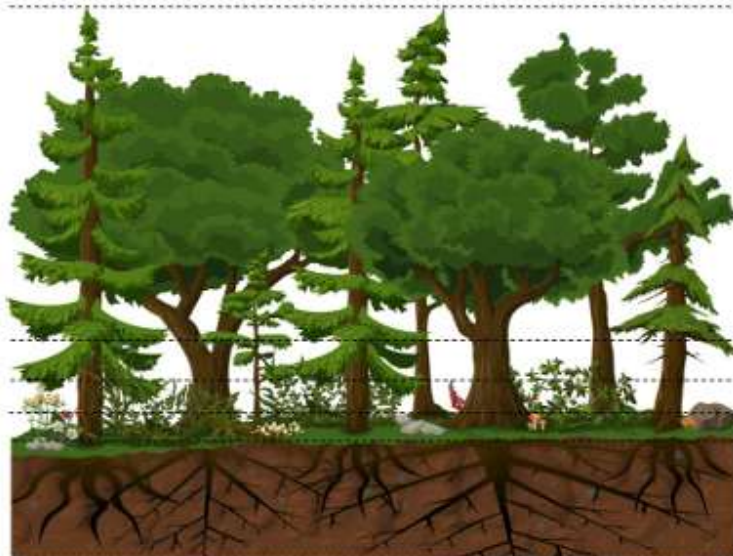


Biotische Faktoren =



Ökosystem

LÖSUNG STATION 2: AUFGABE 2



Baumschicht (bis zu 40 m)

Strauchschicht (bis zu 5 m)

Krautschicht (bis zu 1 m)

Moosschicht (bis zu 0,2 m)

Wurzelschicht (bis zu 5 m tief)

LÖSUNG STATION 2: AUFGABE 6

Moosschicht → Die Pflanzen der Moosschicht speichern Wasser und schützen den Boden vor Austrocknung.

LÖSUNG STATION 2: AUFGABE 7

16m → 100% Messung über Baumkronen, kein Licht absorbiert

4m → 22% Messung unter Baumkronen in Strauchschicht, Großteil des Lichts absorbiert

Generell gilt: Je näher am Waldboden, desto mehr Licht wird durch die Blätter der darüberliegenden Pflanzen absorbiert. 1m → 4%; 0,1m → 2%; 0,02 m → 0,1%

LÖSUNG STATION 2: AUFGABE 8

Wenn die Laubbäume ihre Blätter entwickeln, gibt es nicht mehr genug Licht für das am Boden wachsende Buschwindröschen. Die Photosyntheseleistung ist zum Überleben nicht mehr ausreichend. Somit muss es sich vermehren, solange es genug Licht gibt.

LÖSUNG STATION 4: AUFGABE 1

Entscheide nun, welche zwei Lösungen sinnvoll sind. Notiere die Ziffern in der Code-Tabelle. Trage erst die große, dann die kleine Ziffer ein.

Es ist nicht sinnvoll alles zu entfernen, da Totholz wichtigen Lebensraum für verschiedene Lebewesen bietet und fördert somit die Artenvielfalt. Außerdem werden bei der Zersetzung des Totholzes Mineralstoffe freigesetzt und an den Boden abgegeben, was wiederum als Dünger für andere Waldpflanzen dient. (5)

Das Verrotten von Totholz zieht Mineralstoffe aus dem Boden und ist damit schädlich für die Wälder. Wenn es nicht entfernt wird, sinkt die Artenvielfalt. Somit muss Totholz schnellstmöglich aus dem Wald entfernt werden. (2)

Man sollte einen Teil des Totholzes entfernen, um weitere Schäden durch umstürzende Bäume oder mögliche Unfälle durch herumliegende Bäume zu vermeiden. Zudem sollte die Ausbreitung von Schädlingen überwacht werden (z.B. Borkenkäfer). (8)

Totholz verrottet sowieso und muss nicht entfernt werden. Das Entfernen mit Maschinen sowie der Abtransport verursachen unnötige Kosten und verbraucht fossile Brennstoffe. (7)

LÖSUNG STATION 4: AUFGABE 2

Nach Sturmschlag liegt eine freie Fläche mit viel Licht vor. Diese Fläche wird im Anfangsstadium sehr schnell wieder besiedelt. Das schmalblättrige Weidenröschen kann sich hier sehr gut gegen konkurrierende Pflanzen durchsetzen, weil es in sehr kurzer Zeit sehr viele Samen bilden kann. Darüber hinaus können seine Samen durch ihren Haarschopf sehr weit mit dem Wind verbreitet werden. Das sind beides Vorteile, um auf neu freiwerdenden Flächen in sehr kurzer Zeit zu wachsen.

Die letzte Codeziffer erhältst du durch richtige Vervollständigung dies Satzes:

Das Weidenröschen ist eine typische Pflanze ...

- ... im Anfangsstadium der Sukzession. (2)
- ... in einem Folgestadium der Sukzession. (1)
- ... im Endstadium der Sukzession. (0)

LÖSUNG STATION 5: AUFGABE 2

Aussage	Wahr	Falsch	Keine Aussage möglich
Zur Herstellung von holzfreiem Papier wird kein Holz benötigt.		X	
Die Herstellung von 1 kg Primärfaserpapier (= neues Papier) benötigt 2,5-mal so viel Energie, wie für die Herstellung von 1 kg Recyclingpapier.	X		
Aus 1 kg Altpapier kann 1 kg Recyclingpapier hergestellt werden.		X	
Dem Zellstoffbrei müssen Zusatzstoffe, wie Leim und Farbstoffe beigemischt werden, damit das Papier die gewünschten Eigenschaften erhält.	X		
Von den 18 kg verbrauchten Hygienepapieren waren 10 kg Toilettenpapier, 5 kg Taschentücher und 3 kg Küchenrolle.			X
Pro Kilogramm reinem Recyclingpapier können 2,2 kg Holz eingespart werden.	X		
Der Pro-Kopf-Papierverbrauch der Deutschen lag im Jahr 2021 bei ca. 256 kg.	X		

LÖSUNG STATION 7: AUFGABE 1



LÖSUNG STATION 7: AUFGABE 2



Häufig lassen sich diese Bereiche nicht scharf abgrenzen, wie z.B. der sparsame Einsatz von Ressourcen. So wird die Umwelt geschont (grün) und ist gleichzeitig wirtschaftlicher (gelb).

LÖSUNG STATION 7: AUFGABE 4

Wenn ein Unternehmen CO₂-neutral produziert, dann ...

- stößt es bei der Herstellung ihrer Produkte keine Treibhausgase aus. [2]
- ist die Produktion auch klimaneutral. [2]
- ändert sich der CO₂-Gehalt der Atmosphäre durch die Produktion insgesamt nicht. [8]
- dürfen weiterhin andere Treibhausgase ausgestoßen werden. [4]

Das Wort „klimaneutral“...

- kann bedeuten, dass Unternehmen unverändert weiterproduzieren und durch Zahlungen an bestimmte Projekte ihre Abgase „ausgleichen“. [3]
- bedeutet, dass z.B. bei der Produktion oder beim Transport keine Treibhausgase abgegeben werden. [6]
- bedeutet, dass kein Erdöl als Energiequelle verwendet wurde. [7]
- bedeutet, dass ausschließlich erneuerbare Energien genutzt wurden. [1]

LÖSUNG STATION 8:



LÖSUNG STATION 9: AUFGABE 1

Eine Gruppe Jugendlicher grillt in einer Waldlichtung.

Ein Mann beobachtet Wildtiere mit einem Fernglas.

Eine Gruppe Spaziergänger singt zu Musik aus einem Lautsprecher.

Ein Pärchen ritzt seine Anfangsbuchstaben und ein Herz in die Rinde eines Baumes.

Ein Kind pflückt einen Blumenstrauß für seine Mutter. Achtung: Es kommt natürlich immer darauf an, welche Blumen es sind (Stehen sie unter Naturschutz?) und wo du dich befindest (Bist du in einem Schutzgebiet?).

Ein kleiner Junge liest ein Buch auf einer Bank.

Ein älteres Ehepaar geht mit ihrem angeleinten Hund spazieren.

Ein Mädchen joggt auf dem Waldweg.

Eine Familie lässt nach einer üppigen Brotzeit ein paar Lebensmittelverpackungen zurück.

LÖSUNG STATION 9: AUFGABE 2

Müll	Durchschnittliche Abbaudauer im Wald
Dünne Plastiktüte	20 Jahre
Apfelkerngehäuse	ca. 2 Monate
Glasflasche	mehr als 4000 Jahre
Bananenschale	1-2 Jahre
Getränkedose	50-500 Jahre
Papiertaschentuch	1-5 Jahre
Getränkebecher	ca. 50 Jahre
Kaugummi	3-5 Jahre
Babywindel	500-800 Jahre
Zigarettenstummel	2-7 Jahre
Alufolie	ca. 25 Jahre

LÖSUNG STATION 9: AUFGABE 3

Diese Aussage ist falsch, da der Getränkebecher auf der Innenseite mit einer Plastikbeschichtung überzogen ist, damit das Papier nicht durchweicht. Daher braucht der Getränkebecher circa 50 Jahre, bis dieser abgebaut wird. Aus diesem Grund sollte man Getränkebecher nicht einfach liegen lassen.

(Tipp: Mehrwegbecher sind die umweltfreundlichste Wahl.)

LÖSUNG STATION 9: AUFGABE 4

Eine Glasflasche, die zu Zeiten des Pharaos Tutanchamun (ca. 1800 vor Christus) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [2]

Einen Kaugummi, der zum Zeitpunkt der Euroeinführung in Deutschland (2002) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [4]- Achtung: Wenn Tiere die Kaugummis fressen, kann dies schädlich sein.

Einen Getränkebecher, der zum Zeitpunkt des Mauerfalls in Deutschland (1989) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [8]

Einen Zigarettenstummel, der in einen Wald geworfen wurde als Deutschland zum vierten Mal Fußballweltmeister wurde (2014), könnte man heute noch finden. [7]-Achtung: Wenn Tiere die Zigarettenstummel fressen, kann dies schädlich sein. In Zigaretten sind über 7000 Schadstoffe enthalten. Achtlos weggeworfen verunreinigt ein einziger Zigarettenstummel bis zu 1000 l Grundwasser!

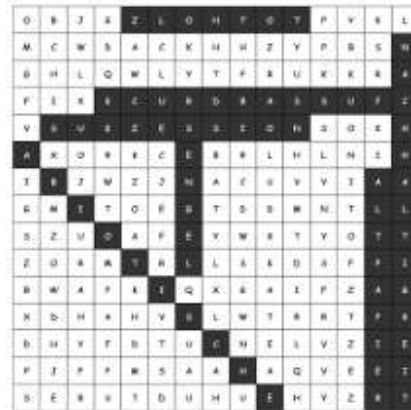
Eine Bananenschale, die zum Zeitpunkt der ersten Coronainfektion in Deutschland (27.1.2020) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [4]

Eine Plastiktüte, die in einen Wald geworfen wurde, als zum ersten Mal eine Frau Bundeskanzlerin wurde (Angela Merkel, 2005), könnte man heute noch finden. [1]

Eine Babywindel, die zu Zeiten von Leonardo da Vinci (1452-1519) in einen Wald geworfen wurde, könnte man heute noch finden. [5]

KNOBELAUFGABE 1: WORTSUCHE

- Alle stehenden oder liegenden Bäume sowie alle abgebrochenen, die abgestorben sind, werden als **Totholz** bezeichnet.
- Papierrecycling wird hauptsächlich aus **Altpapier** hergestellt.
- Umwelt, Soziales und Wirtschaft sind die drei Säulen der **Nachhaltigkeit**.
- Durch die Wahl öffentlicher Verkehrsmittel anstelle des Autofahrens verkleinerst du deinen ökologischen **Fußabdruck**.
- Der Blaue **Engel** ist auf Papierprodukten zu finden, die zu 100 % aus recyceltem Papier bestehen.
- Temperatur und Feuchtigkeit sind Beispiele für **abiotische** Faktoren.
- Die zeitliche Abfolge der Pflanzenszusammensetzung eines Waldes nach einer Kahlschlag- oder Sturmschädigung wird als **Sukzession** bezeichnet.



KNOBELAUFGABE 2: KREUZWORTRÄTSEL

- Die Wurzeln der Bäume verhindern Boden... .
- Deine ..., z.B. ob du viel Fleisch isst, beeinflusst deinen ökologischen Fußabdruck.
- Altpapier kann bis zu ... Mal recycelt werden.
- Ein Lebensraum und alle darin lebenden Organismen werden als ... bezeichnet.
- Raubtiere und Nahrung sind Beispiele für ... Faktoren.
- Wenn Totholz zersetzt wird, werden ... in den Boden freigesetzt.
- Die ersten Pflanzenarten, die sich in einem geräumten Gebiet etablieren, werden als ...arten bezeichnet.



KNOBELAUFGABE 3: VIELE BILDER – EIN WORT

Finde das Wort, das durch diese vier Bilder dargestellt wird.



Lösung: Entwaldung/Rodung/Kahlschlag etc.





Ratespiel

Hinweise für Lehrkräfte

1. Drucken Sie die folgenden Seiten aus (DIN A4).
2. Laminieren Sie sie, wenn Sie möchten.
3. Schneiden Sie die Karten aus.

Es steht Ihnen frei, weitere Fragen hinzuzufügen. Die Vorlagen wurden ebenfalls bereitgestellt.

QUIZ-ANLEITUNG

-  Mische das Deck.
-  Der jüngste Spieler zieht die erste Karte und liest die Frage im farbigen Feld den anderen Spielern vor.
-  Der erste Spieler, der die richtige Antwort gibt, darf die Karte vor sich ablegen und die nächste Karte der Gruppe vorlesen.
-  Der Spieler, der die meisten Fragen richtig beantwortet und somit die meisten Karten gewonnen hat, ist der Quiz-Champion.

1

Wahr oder falsch? „Der ökologische Fußabdruck einer Person umfasst nur persönliche Auswirkungen.“	Wahr oder falsch? „Taschentücher können recycelt werden.“	Wahr oder falsch? „Zeitschriften können recycelt werden.“	Wahr oder falsch? „Gesunde Wälder können Erdrutsche verhindern.“
Falsch: Der ö. FA einer Person umfasst persönliche und gesellschaftliche Auswirkungen.	Falsch	Wahr	Wahr
Wahr oder falsch? „Gesunde Wälder können Erdbeben verhindern.“	Wahr oder falsch? „Alle Papierprodukte mit Umweltlabels bestehen aus recyceltem Papier.“	Wahr oder falsch? „Holzfreies Papier und recyceltes Papier sind Synonyme.“	Wahr oder falsch? „Nahrung ist ein biotischer Faktor.“
Falsch	Falsch	Falsch	Wahr

2

Nenne zwei biotische Faktoren.	Nenne zwei abiotische Faktoren.	Gib den Fachbegriff für die zeitliche Abfolge der Pflanzengemeinschaften eines Waldes nach einem Kahlschlag an.	Nenne die drei Säulen der Nachhaltigkeit.
z.B. Fressfeinde, Nahrung, Menschen, Konkurrenz, Parasiten	z.B. Strahlung, Sauerstoff, Temperatur, Schadstoffe, Licht, Mineralien, Wind	Sukzession	Umwelt/Ökologie, Soziales und Wirtschaft/Ökonomie
Gib an, wie oft Papier recycelt werden kann.	Gib den Fachbegriff für die ersten Pflanzenarten, die sich in einem gerodeten Gebiet ansiedeln an.	Nenne den Fachbegriff für ein Habitat und alle Organismen, die darin leben.	Nenne zwei Aspekte des menschlichen Lebens, die den ökologischen Fußabdruck beeinflussen.
6-mal	Pionierarten	Ökosystem	z.B. Wohnen, Ernährung, Mobilität, Konsum, Urlaub.

3

Multiple Choice Welche der folgenden ist KEINE Schicht des Waldes?	Multiple Choice Welcher der folgenden ist KEIN abiotischer Faktor?	Multiple Choice Welches der folgenden Papierprodukte kann recycelt werden?	Multiple Choice Welche Umweltgefahren können nicht durch Wälder redividiert werden?
a) Moosschicht b) Baumschicht c) Blumenschicht d) Strauchschicht	a) Wasser b) Wind c) Mineralien d) Bakterien	a) Müllschichteln b) Fotos c) Taschentücher d) Backpapier	a) Flut b) Vulkanausbrüche c) Lawinen d) Bodentrockenheit
Multiple Choice Alle abgestorbenen stehenden/liegenden Bäume und alle abgebrochenen Teile nennt man ...	Multiple Choice Der Ökologische Fußabdruck aller Menschen sollte idealerweise ... betragen.	Multiple Choice Um deinen ökologischen Fußabdruck zu verringern, sollte man besser mit dem ... reisen.	Multiple Choice Welche der folgenden ist KEINE Säule der Nachhaltigkeit?
a) Müllholz b) Totholz c) Fallholz d) Bruchholz	a) 2,5 b) 3 c) 1 oder weniger d) 2 oder höher	a) Flugzeug statt mit dem Zug b) Auto statt mit dem Fahrrad c) Zug statt dem Auto	a) Soziales b) Gesundheit c) Umwelt / Ökologie d) Wirtschaft / Ökonomie

4

Wahr oder falsch?	Wahr oder falsch?	Wahr oder falsch?	Wahr oder falsch?
Wahr oder falsch?	Wahr oder falsch?	Wahr oder falsch?	Wahr oder falsch?

5

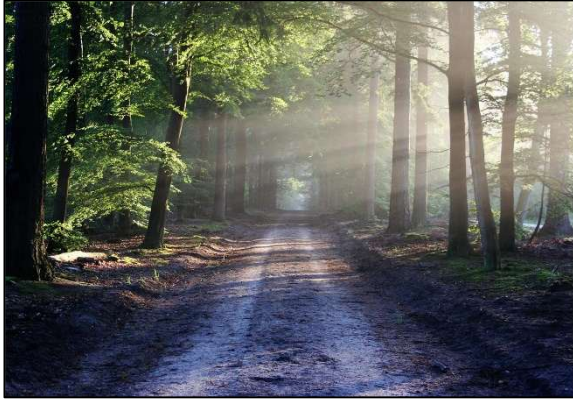
6

7

8

B. Digitales Unterrichtsmodul


B.1 PowerPoint®-Präsentation




1

Bei einem gemütlichen Spaziergang mit deinen Freunden in einem nahegelegenen Wald, entdeckst du eine seltsame Nachricht. Du hebst sie auf und betrachtest sie näher. Darauf steht: „Rettet uns!!!“. „Ihre Verfasser waren scheinbar sehr verzweifelt.“, murmelst du leise vor dich hin und liest weiter. Dem Text nach soll diese Nachricht aus der Zukunft kommen. Du rufst die anderen herbei.
Diese Nachricht klingt für euch sehr nach Science-Fiction oder nach einem schlechten Scherz. Ihr zweifelt stark an der Echtheit der Nachricht – aber was wäre, wenn sie doch echt ist? Die Neugier hat euch gepackt und ihr beschließt der Sache auf den Grund zu gehen...





2 (wurde von Lehrkraft vorgelesen)



Evaluation



Reflektiere über dein Lernen in Bezug auf diese Fragen:

-  Welcher Inhalt war für dich besonders wichtig und warum?
-  Gab es Inhalte, die völlig im Widerspruch zu dem standen, was du vorher zu wissen glaubtest?
-  Welcher Inhalt war für dich schwer verständlich? Was war der Grund? Wie hast du die Schwierigkeiten überwunden?
-  Hast du noch offene Fragen?

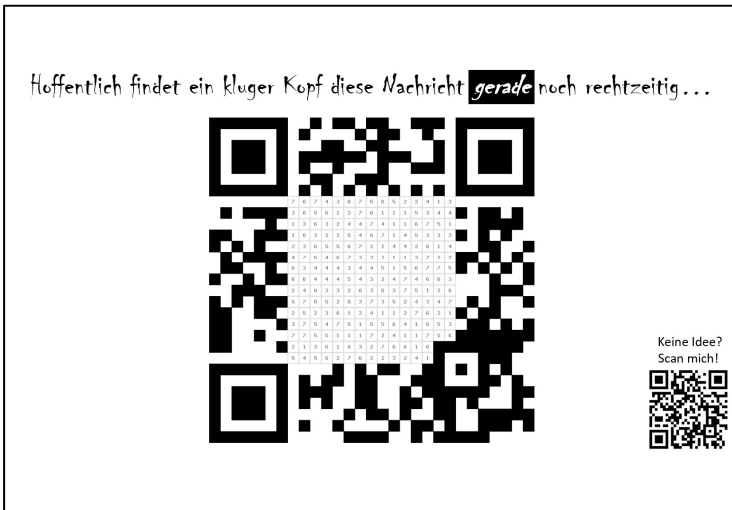
3

B.2 Startkarten zum Ausmalen

Vorderseite:



Rückseite:



Ausgemalte Rückseite:



B.3 Lösungsheft für Lehrkräfte

LÖSUNG SHEFT FÜR LEHRKRÄFTE



**HILFERUF AUS DER
ZUKUNFT**

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
1. BENÖTIGTE MATERIALIEN	3
2. HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE	4
3. CODE-LISTE	5
4. SPIELE UND QUIZZE FÜR SCHNELLE	6
5. WEITERE QUELLEN	7

1. BENÖTIGTE MATERIALIEN

Je nachdem, ob der EduBreakout in Einzel- oder Gruppenarbeit bearbeitet werden soll, wird das folgende Material pro Person bzw. pro Gruppe benötigt:

- Ein **digitales Endgerät** (z. B. ein Tablet) mit **Internetzugang** und **ggf. Kopfhörer** bilden die technische Grundlage.
- Zusätzlich benötigen die Lernenden eine **laminierte, doppelseitig bedruckte Startkarte** sowie einen **abwischbaren Folienstift mit dicker Spitze** (nonpermanent).
- Ferner wird ein mit **„1 – Öffne den Umschlag erst, wenn du dazu aufgefordert wirst!“** beschrifteter **DIN-A4-Umschlag** vorbereitet, der den ausgedruckten und ggf. laminierten **Bestimmungsschlüssel** enthält. Dieser Umschlag wird gemeinsam mit der Startkarte und dem Folienstift in einen **größeren Umschlag** oder alternativ in eine **Postmappe** gelegt.



2. HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

KLASSENZIMMERVORBEREITUNG:

Drucken Sie die Startkarten beidseitig und die Bestimmungsschlüssel einseitig aus. Laminieren Sie anschließend alle Ausdrucke. Legen Sie jeweils einen Bestimmungsschlüssel in einen mit „1 – Öffne den Umschlag erst, wenn du dazu aufgefordert wirst!“ beschrifteten Umschlag. Kombinieren Sie diesen Umschlag mit einer Startkarte und einem abwischbaren Folienstift in einem größeren Umschlag oder einer Postmappe.

Verteilen Sie die vorbereiteten Materialien gemeinsam mit den Tablets an jede Lerngruppe bzw. an jede/n Lernende/n. Starten Sie den Projektor und zeigen Sie die erste Folie der PowerPoint-Präsentation als Einstieg in die Einheit.

ABLAUF:

- **Einstieg:** Projizieren sie die erste Folie und lesen Sie den folgenden Einstiegstext vor:

„Bei einem gemütlichen Spaziergang mit deinen Freunden in einem nahegelegenen Wald entdeckst du eine seltsame Nachricht. Du hebst sie auf und betrachtest sie näher. Darauf steht: „Rettet uns!!!“. „Ihre Verfasser waren scheinbar sehr verzweifelt.“, murmelst du leise vor dich hin und liest weiter. Dem Text nach soll diese Nachricht aus der Zukunft kommen. Du rufst die anderen herbei. Diese Nachricht klingt für euch sehr nach Science-Fiction oder nach einem schlechten Scherz. Ihr zweifelt stark an der Echtheit der Nachricht – aber was wäre, wenn sie doch echt ist? Die Neugier hat euch gepackt und ihr beschließt der Sache auf den Grund zu gehen...“

- **Erarbeitung:** Fordern Sie nun die Lernenden dazu auf die Startkarten und den Folienstift zu entnehmen und das Rätseln zu beginnen.
- **Reflexion:** Projizieren Sie die dritte Folie der Präsentation und reflektieren Sie gemeinsam mit Ihrer Klasse den Lernprozess.

3. CODE-LISTE

STARTKARTEN-RÄTSEL:

(gerade Zahlen ausmalen;
Punkte setzen genügt, das
Kästchen muss nicht genau
ausgemalt werden.)



KAPITEL 1 (PROLOG) : *kein Code nötig*

KAPITEL 2 (IN DER BIBLIOTHEK) : Bi2S4x

KAPITEL 3 (DAS LABOR) : 190728

KAPITEL 4 (DIE FORSCHUNGSERGEBNISSE VON C. LEVER) : 010022014122410016KLPv2

KAPITEL 5 (GATHY LEVERS LAPTOP) : sommerlindestieleichefichtebergahorn

KAPITEL 6 (DIE SUKZESSIONSSTUDIE) : 080-289277252(00)

KAPITEL 7 (ALEX WILBER – DER PAPIERWISSENSCHAFTLER) : fwfwkww

KAPITEL 8 (ÖKO-INSTITUT FREIBURG) : 3.004

KAPITEL 9 (JORDAN MILLER) : ÖkopaPlus, Der Blaue Engel, FSC recycled und 100%
chlorfrei gebleicht

KAPITEL 10 (FORESTS FOR FUTURE) : Bertoldstraße

KAPITEL 11 (IN DER BERTOLDSTRASSE) : Gleis 4

KAPITEL 12 (IM ZUG) : DAS IST DER RICHTIGE WEG

KAPITEL 13 (WILLKOMMEN BEI "EARTH DAILY") : 081542

KAPITEL 14 (RICHARD ODUNGS BÜRO) : 290522

KAPITEL 15 (R. ODUNGS NOTIZBUCH) : Am Forst 13, 95131 Schwarzenbach am Wald

KAPITEL 16 (IM FRANKENWALD) : SCHUTZFUNKTIONEN DES WALDES

KAPITEL 17 (KAKAO IN DER FORSTHÜTTE...) : EARTH DAILY PRESSEAGENTUR

KAPITEL 18–22 (EARTH DAILY PRESSEAGENTUR) : *Vier alternative Enden*

KAPITEL 23 (HERZLICHEN GLÜCKWUNSCH) : *Belohnung ausgeben*

4. SPIELE UND QUIZZE FÜR SCHNELLE

SUCHSEL



<https://learningapps.org/watch?v=pqks98e3k25>

KREUZWORTRÄTSEL



<https://learningapps.org/watch?v=pq4gv9kdc25>

MEMORY



<https://learningapps.org/watch?v=pmwjt95525>

PFERDERENNEN



<https://learningapps.org/watch?v=pgds4pdmk25>

5. WEITERE QUELLEN

Im folgenden sind alle Informationsquellen aufgeführt, die zur Erstellung der Unterrichtsmaterialien herangezogen wurden.

WEBSITES:

- <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/sukzession/11458> (26.02.22, 20:23h)
- <https://www.welt.de/wissenschaft/article189621151/Baeume-Junge-Waelder-binden-mehr-Kohlenstoff.html> (03.03.2022, 10:16h)
- <https://www.footprintcalculator.org/home/en> (03.03.2022, 12:38h)
- <https://www.regenwald-schuetzen.org/verbrauchertipps/papier/umweltsiegel-fuer-papier> (03.03.2022, 15:23h)
- <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/papier/30377.html> (06.04.2022, 11:05h)
- <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/papier/30384.html> (06.04.2022, 11:07h)
- https://www.suedwind.at/fileadmin/user_upload/suedwind/Bilden/Downloads-files_Downloads-Teaser/Vom_Wald_zum_Blatt-sc2.pdf (p.15; 06.04.2022, 11:10h)
- https://www.papierindustrie.de/fileadmin/0002-PAPIERINDUSTRIE/07_Dateien/XX-LB/PAPIER2021-digital.pdf (p.15; 06.04.2022, 11:20h)
- https://www.foep.info/dokumente/upload/6c397_kritischer_papierbericht_2013_neu.pdf (p.71; 06.04.2022, 11:26h)
- https://www.suedwind.at/fileadmin/user_upload/suedwind/Bilden/Downloads-files_Downloads-Teaser/Vom_Wald_zum_Blatt-sc2.pdf (07.04.22, 10:24h)
- https://www.die-bremer-stadtreinigung.de/sixcms/media.php/13/Unterrichtsmaterial_Papier-von%20Natur%20bis%20Kultur-min.pdf (07.04.22, 13:49h)
- <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/ressourcen/56391> (18.05.22, 15:48h)
- https://elsenbruch.info/ch10_papierherstellung.htm (24.01.23, 18:30h)
- <https://www.ecolabelindex.com/ecolabels/?st=country,us> (24.01.23, 20:12h)
- <https://www.cityoflagunaniguel.org/ImageRepository/Document?documentID=13712> (24.01.23, 20:34h)

BÜCHER UND PAPERS:

- Bauer, J. et al (2020). *Natura 8 – Biologie für Gymnasien* (1. Aufl.). Ernst Klett Verlag (S.102 f., 106, 108, 113, 118 f.)
- Freimann, T. et al (2019). *Fokus Biologie 8 – Gymnasium Bayern* (1. Aufl., Prüfaufgabe). Cornelsen Verlag (S. 114)
- Hausfeld, R. et al (2020) *Bioskop 8 – Gymnasium Bayern* (1. Aufl.). Westermann Verlag (S. 100, 104 f., 112 f., 116 f., 120 f., 126 f.)
- Finger, F. et al (2019) *Biologie heute 8 - Bayern* (1. Aufl., Prüfaufgabe). Westermann Verlag (S. 136 f., 166)
- Schmidt, M. et al (2020) *Biologie 8 – Gymnasium Bayern* (1. Aufl.). C.C. Buchner Verlag (S. 165, 176, 178-189)
- Pugh, T. A. M. et al. Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* **2019**, *10*, 4382-4387, DOI: 10.1073/pnas.1810512116

B.4 Link zum digitalen EduBreakout und ausgewählte Screenshots

Der digitale EduBreakout kann über den folgenden Link bzw. QR-Code aufgerufen werden:


<https://forms.gle/nEsgAvKBu9QpYbhV7>




Da eine vollständige Aufnahme aller 18 Kapitel sowie sämtlicher Webseiten in Form von Screenshots den Umfang des Anhangs unverhältnismäßig vergrößern würde und sämtliche Inhalte online frei zugänglich sind, wurden nur exemplarisch ausgewählte Screenshots eingefügt, um einen repräsentativen Eindruck der Gestaltung des digitalen EduBreakouts zu vermitteln.

Google-Forms – Geschichtenkapitel mit Audios, Links und „Code-Schlössern“:

Das Labor

[Hier gibts den Text als Audio](#) 

Ihr habt die erste Aufgabe des Unbekannten gemeistert und habt Koordinaten und die Nummer 22.14 erhalten. Sie führen euch zu einer Universität. Ihr vermutet, dass es sich bei der Nummer um einen Raum handelt. Als ihr eine vorbeigehende Studentin nach dieser Nummer fragt, beschreibt sie euch den Weg. Das Zimmer ist offen und ihr tretet ein. Das Labor ist nahezu leer. Lediglich an der Pinnwand hängen noch einige Zettel.



Ihr nähert euch der Pinnwand. <https://sites.google.com/view/im-labor/startseite>

Anhang

Von diesem Schrank muss der geheimnisvolle Fremde gesprochen haben. Kennt ihr die Kombination? *



Meine Antwort

Zurück

Weiter

Alle Eingaben löschen

Google-Sites mit H5P-Anwendungen und interaktiven Pinnwänden:

Startseite Das Handy klingelt

In der Bibliothek

Aufgabe
Ein Öko-was? - Wiederholung

Bereits in Natur und Technik hast du die Ökosysteme Grünland und See (siehe Bild) kennengelernt. Grundsätzlich bestehen alle Ökosysteme aus dem Lebensraum und den darin vorkommenden Lebewesen. Jedes Lebewesen ist verschieden Umwelteinflüssen ausgesetzt. Man

OK

Abiotische Faktoren sind alle ...
Biotische Faktoren sind alle Einwirkungen auf ein Lebewesen, die von ... ausgehen, z.B. ...

Abiotische Faktoren

Ökosystem

Anhang



Abbildung 2: Stockwerk des Waldes

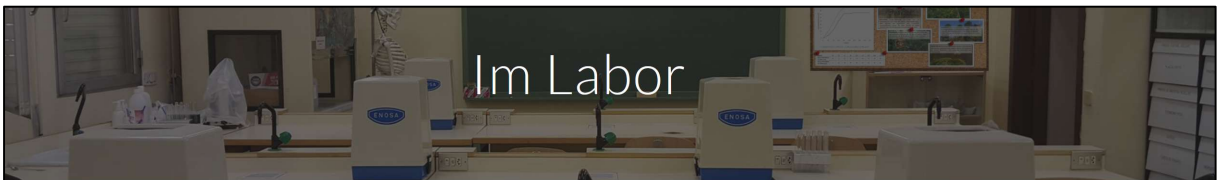
Messung des Wasserdurchflusses

Zeit [s]	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Wasserdurchfluss mit Kies [ml]	10	23	37	45	46	46	46	46	46
Wasserdurchfluss mit Moos [ml]	4	12	25	36	36	37	37	37	37

Waldstruktur: Durch Zerstörung von Laubbäumen und Fichten (Nadelbäume) durch Stürme, Krankheiten oder Feuer entstehen Lückenniederwälder. Diese sind durch die fehlende Beschattung für viele Arten ein Lebensraum. Sie sind durch die fehlende Beschattung für viele Arten ein Lebensraum. Sie sind durch die fehlende Beschattung für viele Arten ein Lebensraum.

Wasserdurchfluss: Die Messung des Wasserdurchflusses erfolgt durch die Verwendung von Messgeräten wie dem Wasserflussmesser. Die Messung des Wasserdurchflusses erfolgt durch die Verwendung von Messgeräten wie dem Wasserflussmesser.

Waldstruktur: Die Messung des Wasserdurchflusses erfolgt durch die Verwendung von Messgeräten wie dem Wasserflussmesser. Die Messung des Wasserdurchflusses erfolgt durch die Verwendung von Messgeräten wie dem Wasserflussmesser.



Messung des Wasserdurchflusses

Zeit [s]	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Wasserdurchfluss mit Kies [ml]	10	23	37	45	46	46	46	46	46
Wasserdurchfluss mit Moos [ml]	4	12	25	36	36	37	37	37	37

Benenne das Stockwerk und gib dessen Bedeutung für den Wald an, die durch das Experiment modellhaft veranschaulicht werden konnte.

[Lösung überprüfen](#)

C. Fragebogen: Anonyme Kennung

-
1. Gib deinen Geburtsmonat an. (z.B. Oktober = 10, Januar = 01)

 2. Gib dein Geburtsjahr an. (z.B. 2010)

 3. Gib die ersten beiden Buchstaben deines Vornamens an. (z.B. Anna = AN, Otto = OT)

 4. Gib die ersten beiden Zahlen deiner Hausnummer ein. (z.B. 7 = 07, 114 = 11)

 5. Gib die ersten beiden Buchstaben deines Schulortes an. (Würzburg = WÜ, Hof = HO)

 6. Ich bin ...
 - ... männlich.
 - ... weiblich.
 - ... divers.
-

D. Fragebogen: Umweltwissen (W)

Anmerkung: Die richtigen Antworten sind grün. Die Lernenden erhielten den Test ohne Markierungen. Im Online-Fragebogen (Microsoft Forms) wurden die Quellenlinks nicht angezeigt.

1. Abiotische Faktoren sind z.B. ...

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> ... Fressfeinde und Konkurrenten. | <input type="checkbox"/> ... Wasser und Licht. |
| <input type="checkbox"/> ... Mineralstoffe und Nahrung. | <input type="checkbox"/> ... Mensch und Industrie. |

2. Die Moosschicht ...

- ... ist das unterste Stockwerk des Waldes.
- ... erfüllt keine wichtige Funktion.
- ... besteht aus Moosen und Fruchtkörpern von Pilzen.
- ... kann kein Wasser speichern.

3. Je dichter die Baumkronen die Baumschicht schließen, ...

- ... desto weniger Pflanzen können in der Krautschicht wachsen.
- ... desto dichter wachsen die Pflanzen der Krautschicht.
- ... desto mehr Photosynthese betreiben die Pflanzen der Strauchschicht.
- ... desto größer ist die relative Lichtmenge, die darunter gemessen werden kann.

4. Du entdeckst im Wald einen Nadelbaum. Die grünen Nadeln wachsen einzeln, sind etwa 1,5 cm lang und stechen (siehe Abbildung). Es handelt sich also um eine...

- ... Tanne.
- ... Lärche.
- ... Kiefer.
- ... Fichte.



von kerut auf pixabay.com
(<https://pixabay.com/de/photos/fichte-zweig-nadeln-nadelbaum-baum-5834387/>, zuletzt geprüft am 31.10.24)

5. Kreuze das zu einer Linde gehörende Blatt an.



Bilder von SimachtBilder auf pixabay.com: Eiche (<https://pixabay.com/de/photos/blatt-baum-wald-natur-gr%C3%BCn-eiche-5468339/>); Linde (<https://pixabay.com/de/photos/blatt-laubbaum-baum-bl%C3%A4tter-wald-5444192/>); Erle (<https://pixabay.com/de/photos/blatt-wald-natur-gr%C3%BCn-erle-5468334/>); Ahorn (<https://pixabay.com/de/photos/blatt-ahorn-baum-wald-natur-gr%C3%BCn-5468315/>) alle Links zuletzt geprüft am 31.10.24.

Anhang

6. Die Lärche...

- ... ist ein Laubbaum. ... ist ein Nadelbaum.
- ... trägt das ganze Jahr ihre Blätter. ... ist ein Vogel.

7. Totholz...

- ... wird von Zersettern langsam abgebaut. Dabei werden unter anderem Mineralstoffe freigesetzt und dienen somit als Dünger.
- ... muss vom Förster möglichst schnell aus dem Wald entfernt werden, damit die darin lebenden Tiere den Wald ungehindert durchqueren können.
- ... erfüllt im Wald keine wichtige Funktion.
- ... stört den Lebensraum von Waldbewohnern.

8. Es handelt sich um Sukzession, wenn...

- ... alle Bäume einer Mischwaldfläche gefällt und stattdessen schnellwachsende Fichten gepflanzt werden.
- ... ein Bauer jährlich die auf seinem Feld angepflanzten Nutzpflanzen ändert.
- ... sich nach einem Waldbrand die für dieses Gebiet typischen Lebewesen schrittweise wieder ansiedeln.
- ... Wälder am Stadtrand Neubaugebieten weichen müssen.

9. Bäume speichern am meisten CO₂ ...

- ... bei Regen. ... beim Verrotten.
- ... beim Verbrennen. ... beim Wachsen.

10. Papier ...

- ... kann von Bodenorganismen im Wald nicht abgebaut werden.
- ... kann bis zu sechsmal recycelt werden.
- ..., das als holzfrei gekennzeichnet ist, enthält kein Holz.
- ... kann auch verschmutzt (z.B. Pizzakartons) recycelt werden.

11. Der ökologische Fußabdruck ...

- ... zeigt, wie sehr die Lebensweise eines Menschen die Umwelt belastet.
- ... berücksichtigt nicht, wovon sich die betrachtete Person ernährt.
- ... der Weltbevölkerung ist kleiner 1. Wir können somit den Ressourcenbedarf aller Menschen problemlos decken.
- ... hängt ausschließlich von deiner Lebensweise ab.

Anhang

12. Für Das Wort „klimaneutral“ auf einem Produkt...

- ... kann bedeuten, dass Unternehmen unverändert weiterproduzieren und durch Zahlungen an bestimmte Projekte ihre Abgase „ausgleichen“.
- ... bedeutet, dass z.B. bei der Produktion oder beim Transport keine Treibhausgase abgegeben werden.
- ... bedeutet, dass das Produkt nachhaltig ist.
- ... bedeutet, dass ausschließlich erneuerbare Energien, wie Windkraft, genutzt wurden.

13. Kreuze an, welche Verhaltensweise dem Ökosystem Wald **nicht** schadet.

- Eine Gruppe Jugendlicher grillt in einer Waldlichtung.
- Ein Mann beobachtet Wildtiere mit einem Fernglas.
- Eine Gruppe Spaziergänger singt laut zu Musik aus einem Lautsprecher.
- Ein verliebtes Pärchen möchte seiner Liebe Ausdruck verleihen und ritzt „A+R“ in die Rinde eines Baumes.

14. Beim Kauf eines möglichst nachhaltigen Schulheftes, solltest du besonders auf folgendes Siegel achten:



Bildquellen: Der Blaue Engel (<https://www.blauer-engel.de/sites/default/files/2021-11/Logo-Leitfaden%20Blauer%20Engel%20Ausgabe%20November%202021.pdf>); EU-Ecolabel (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8666b34d-27a1-11ef-a195-01aa75ed71a1/language-de>); Der Grüne Punkt (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_dot_logo.svg, CC0 1.0); PEFC (<https://www.pefc.de/unternehmen/logonutzung/>) alle Links zuletzt geprüft am 31.10.2024

15. Um möglichst waldschonend zu handeln, solltest du am Kiosk...

- ... auf eine Serviette verzichten.
- ... ein Plastiktütchen statt einer Papiertüte wählen.
- ... das Schinkenbrötchen einer Brezel vorziehen.
- ... einen Kassenzettel verlangen.

16. Du möchtest deinen ökologischen Fußabdruck verringern. Kreuze an, welche Handlungsweise dabei **nicht** hilfreich ist.

- Du kaufst vermehrt gebrauchte Technik, Möbel und Kleidung.
- Du kaufst nur so viel wie du brauchst.
- Du duschst kürzer und / oder nicht mehr so häufig.

Anhang

- Du kippest im Winter die Fenster, statt sie ganz zu öffnen, damit die Heizung die kalte Luft sofort erwärmt.

17. Kreuze das Papierprodukt an, das zum Recyceln in den Papiermüll geworfen werden darf.

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Taschentuch | <input type="checkbox"/> Eierkarton |
| <input type="checkbox"/> Fahrkarte | <input type="checkbox"/> Backpapier |

18. Um den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre zu senken, würde es helfen mehr ...

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> ... Bäume zu fällen. | <input type="checkbox"/> ... Bäume zu pflanzen. |
| <input type="checkbox"/> ... Wälder zu roden. | <input type="checkbox"/> ... Holz zu verbrennen. |

19. Kreuze eine sinnvolle Maßnahme zum Schutz der Wälder an.

- Du fütterst die Waldbewohner regelmäßig mit Lebensmittelabfällen und Brot.
- Du bevorzugst Einwegbecher aus Papier.
- Du verwendest einseitig beschriebenes Papier nochmal als Schmierpapier.
- Du verstreust regelmäßig Dünger im Wald.

20. Kreuze das Naturereignis an, welches **keine Folge** von Waldrodungen ist.

- Die Lawinengefahr steigt.
- Erdbeben werden häufiger.
- Es werden häufiger Überschwemmungen auftreten.
- Die Gefahr von Steinschlägen nimmt zu.

21. Wenn ein Förster zur Deckung der steigenden Holznachfrage einen sehr dichten Fichtenwald pflanzt, ...

- ... dann wächst die Strauchschicht besser.
- ... dann können nur noch die Pflanzen der Moosschicht wachsen.
- ... dann sterben alle darunter liegenden Pflanzen, aufgrund des Lichtmangels ab.
- ... nimmt der Artenreichtum der Tiere zu.

22. Ein hoher Kohlenstoffdioxidausstoß ist problematisch, weil das Gas ...

- ... Allergien auslösen kann.
- ... den Treibhauseffekt verstärkt.
- ... Pflanzen schädigt.
- ... die Ozonschicht zerstört.

23. Für eine nachhaltige Entwicklung sollte man ...

- ... ökologisch handeln, damit unsere Enkelkinder eine intakte Umwelt haben.
- ... wirtschaftlich handeln, damit unsere Enkelkinder nicht in Armut leben.

Anhang

- ... sozial handeln, damit unsere Enkelkinder in Frieden leben.
- ... Umwelt-, soziale und wirtschaftliche Aspekte gleichberechtigt behandeln.

24. Waldverlust führt ...

- ... zu mehr Umweltkatastrophen.
- ... zur Abkühlung der Erde.
- ... zum Anstieg des Sauerstoffgehalts in der Atmosphäre.
- ... zu einer größeren Artenvielfalt.

25. Den Wald schützt man am besten durch ...

- ... die Ausweisung von Schutzgebieten.
- ... durch starke forstwirtschaftliche Nutzung.
- ... durch Gründung eines Wirtschaftswaldes.
- ... durch weniger Holzeinschlag.

E. Fragebogen: Kreativität (CPAC)

		Nie	Manchmal	Oft	Sehr oft
1.	Wenn ich ein Thema anpacke, versuche ich so viele Ideen wie möglich zu finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Wenn ich an einem Problem oder Aufgabe arbeite, bin ich völlig darin versunken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Um eine Lösung zu finden, betrachte ich das Problem von verschiedenen Gesichtspunkten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Wenn ich intensiv arbeite, habe ich das „Gesamtbild“ meines Projektes vor Augen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Ich bringe völlig unterschiedliche Ideen zusammen, um eine neue Idee zu entwickeln.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Ich schaffe eine Verbindung zwischen einem aktuellen Problem/einer aktuellen Aufgabe und einer ähnlichen Situation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Um eine mögliche Lösung für ein Problem zu finden bitte ich andere Leute um Hilfe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Wenn ich intensiv arbeite, mag ich nicht gerne unterbrechen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Ich stelle mir eine mögliche Lösung vor dem inneren Auge vor, um ihre Brauchbarkeit zu überprüfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Ich verliere das Zeitgefühl, wenn ich intensiv arbeite.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.	Ich baue eine alte Lösung in einer völlig neuen Weise mit ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	Ich habe das Gefühl, dass eine unterhaltsame Arbeit automatisch und mühelos von der Hand geht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F. Fragebogen: Umwelteinstellung (EA)

Hinweis: Die durch Kursivschrift gekennzeichneten Items sind negativ formuliert und wurden vor der Analyse umgekehrt kodiert.

	Trifft gar nicht zu / nie	Trifft eher nicht zu / selten	Weder noch / manch- mal	Trifft eher zu / oft	Trifft völlig zu / immer
1. <i>Wälder müssen für den Bau von Straßen abgeholzt werden, weil Straßen für die Gesellschaft sehr wichtig sind.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. <i>Die Natur ist immer in der Lage, sich aus eigener Kraft wiederherzustellen.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. <i>Unser Planet hat unbegrenzte Ressourcen.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. <i>Die Menschen machen sich zu viele Gedanken über Umweltverschmutzung.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. <i>Die Menschen werden auch weiterhin die schwierigsten Umweltprobleme lösen.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. <i>Wir müssen Wälder roden, um Nutzpflanzen (z.B. Getreide) anzubauen.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Menschen sind nicht wichtiger als andere Lebewesen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Die Menschheit wird aussterben, wenn wir nicht im Einklang mit der Natur leben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. <i>Der Umweltschutz hält die wirtschaftliche Entwicklung auf.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Ich kaufe Artikel in Nachfüllpackungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Ich sammle Altpapier und gebe es zum Recycling.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Gebrauchtes Geschenkpapier hebe ich auf, um es wiederzuverwenden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. <i>Ich esse in Fastfood-Restaurants.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. <i>Auf meinen Partys trinken wir aus Plastik- oder Pappbechern.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang

		Trifft gar nicht zu / nie	Trifft eher nicht zu / selten	Weder noch / manch- mal	Trifft eher zu / oft	Trifft völlig zu / im- mer
15.	Ich bin Mitglied einer Umweltschutzorganisation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16.	Ich bitte meine Eltern, Lebensmittel der Saison entsprechend zu kaufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17.	Beim Einkaufen bevorzuge ich Produkte mit Umweltsiegeln.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18.	Ich informiere mich in den Medien (Zeitung, Apps, Fernsehen) über aktuelle Umweltfragen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19.	Wenn ich mir Notizen mache, benutze ich gebrauchtes Papier, das auf einer Seite schon bedruckt ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20.	Ich habe bereits jemanden auf umweltschädigendes Verhalten hingewiesen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21.	Ich benutze Hefte und Schreibblöcke aus Recyclingpapier.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22.	<i>Auf Ausflüge nehme ich Getränke in Einwegverpackungen mit.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23.	Für den Schulweg benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24.	Ich trenne meinen Müll.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25.	Ich verlasse nach einem Picknick den Platz genauso, wie ich ihn vorgefunden habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26.	<i>Menschen sind wichtiger als andere Lebewesen.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27.	<i>Die Menschen sorgen sich zu sehr um die Umweltverschmutzung</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28.	Der schmutzige Rauch aus Fabrikschornsteinen macht mich wütend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29.	Wenn ich Geld übrig habe, spende ich einen Teil davon für den Umweltschutz.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30.	<i>Wir sollten das Unkraut beseitigen, um schöne Blumen zu pflanzen.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

G. Fragebogen: Natureinstellung (AN)

Hinweis: Die durch Kursivschrift gekennzeichneten Items sind negativ formuliert und wurden vor der Analyse umgekehrt kodiert. Die mit fettgedruckten und unterstrichenen Zahlen gekennzeichneten Elemente stammen aus Bogner und Wiseman (2004), während die übrigen Elemente von aus Brügger et al. (2011) entnommen wurden. Die durch Fettschrift gekennzeichneten Items sind die der gekürzten Variante.

	Trifft gar nicht zu / nie	Trifft eher nicht zu / selten	Weder noch / manch- mal	Trifft eher zu / oft	Trifft völlig zu / im- mer
1. Ich spreche mit Pflanzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich beobachte Vögel und höre ihnen zu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich habe eine Tonaufnahme mit Geräuschen der Natur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. <i>Ich würde es immer vorziehen, meine Zeit mit meinen Freunden zu verbringen, anstatt allein in der Natur zu sein.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich stehe früh auf, um den Sonnenaufgang zu beobachten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich beobachte bewusst Vögel oder höre ihnen zu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Ich helfe Schnecken über die Straße.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ich sehe mir Fernsehsendungen an, in denen Tiere die Hauptrolle spielen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Das Schnitzen eines Baumes fühlt sich an, als würde ich selbst schneiden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Ich sammle Objekte aus der Natur, wie Steine oder Insekten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Ich nehme mir Zeit, um bewusst an Blumen zu riechen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Ich ahme Tiergeräusche nach.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<u>13.</u> Ich sitze gerne an einem Teich und beobachte Libellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Zimmerpflanzen sind ein Teil der Familie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang

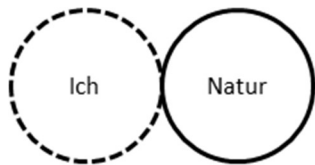
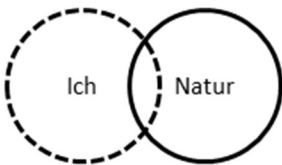
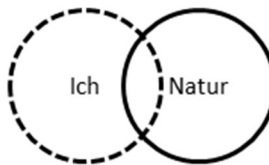
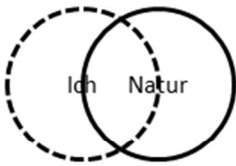



		Trifft gar nicht zu / nie	Trifft eher nicht zu / selten	Weder noch / manch- mal	Trifft eher zu / oft	Trifft völlig zu / im- mer
15.	Ich gehe barfuß über Wiesen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16.	Mein Lieblingsplatz ist in der Natur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17.	Ich ziehe Waldspaziergänge einem Stadtbummel vor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18.	Ich genieße die Gartenarbeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19.	Ich sammle Pilze und Beeren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20.	Ich nehme mir Zeit, um die Wolken vorbeiziehen zu sehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21.	Wenn eine meiner Pflanzen stirbt, mache ich mir Vorwürfe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22.	Ich entspanne mich, wenn ich den Geräuschen der Tiere lausche.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23.	Ich verbringe Zeit in einem Park.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24.	Ich habe das Bedürfnis, draußen in der Natur zu sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25.	Ich spreche mit Tieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26.	Ein Spaziergang durch die Natur lässt mich meine Alltagsorgen vergessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27.	Wenn sich ein Insekt in meiner Wohnung aufhält, z. B. eine Fliege, versuche ich, es zu fangen und wieder freizulassen, anstatt es zu töten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28.	<i>Ich bevorzuge es, in einer Stadt zu leben.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29.	Ich nehme mir absichtlich Zeit, um die Sterne in der Nacht zu beobachten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30.	Ich kümmere mich persönlich um Pflanzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang

		Trifft gar nicht zu / nie	Trifft eher nicht zu / selten	Weder noch / manch- mal	Trifft eher zu / oft	Trifft völlig zu / im- mer
31.	<i>Ich mag einen Rasen mehr als einen Ort, an dem Blumen unabhängig wachsen.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32.	Das Hören der Geräusche der Natur lässt mich entspannen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33.	Es ist interessant zu wissen, welche Lebewesen in Teichen oder Flüssen leben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34.	Draußen Sport zu machen, macht mehr Spaß als drinnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35.	Ich bevorzuge Outdoorsportarten gegenüber Indoor-Sportarten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36.	Selbst wenn es sehr kalt oder regnerisch ist, gehe ich spazieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37.	Ich mag die Ruhe der Natur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38.	Ich genieße Ausflüge aufs Land.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39.	Ein gerodeter Wald macht mich unglücklich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40.	Der Lärm von Tieren geht mir auf die Nerven.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41.	Ich traure um den Verlust von Haustieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42.	Haustiere sind Teil der Familie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43.	Es macht mich traurig, Tiere zu sehen, die von einem Auto überfahren wurden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44.	Tiere sind aufregend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45.	Als Kind verbrachte ich Zeit draußen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

H. Fragebogen: Verbundenheit mit der Natur (INS)

Betrachte die folgenden Kreise. Wie verbunden fühlst du dich mit der Natur? Kreuze an.

 A <input type="checkbox"/>	 B <input type="checkbox"/>	 C <input type="checkbox"/>
 D <input type="checkbox"/>		
 E <input type="checkbox"/>	 F <input type="checkbox"/>	 G <input type="checkbox"/>

(Eidesstattliche) Versicherungen und Erklärungen

(§ 8 Satz 2 Nr. 3 PromO Fakultät)

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe (vgl. Art. 97 Abs. 1 Satz 8 BayHIG).

(§ 8 Satz 2 Nr. 3 PromO Fakultät)

Hiermit erkläre ich, dass ich die Dissertation nicht bereits zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht habe und dass ich nicht bereits diese oder eine gleichartige Doktorprüfung endgültig nicht bestanden habe.

(§ 8 Satz 2 Nr. 4 PromO Fakultät)

Hiermit erkläre ich, dass ich Hilfe von gewerblichen Promotionsberatern bzw. –vermittlern oder ähnlichen Dienstleistern weder bisher in Anspruch genommen habe noch künftig in Anspruch nehmen werde.

(§ 8 Satz 2 Nr. 7 PromO Fakultät)

Hiermit erkläre ich mein Einverständnis, dass die elektronische Fassung der Dissertation unter Wahrung meiner Urheberrechte und des Datenschutzes einer gesonderten Überprüfung unterzogen werden kann.

(§ 8 Satz 2 Nr. 8 PromO Fakultät)

Hiermit erkläre ich mein Einverständnis, dass bei Verdacht wissenschaftlichen Fehlverhaltens Ermittlungen durch universitätsinterne Organe der wissenschaftlichen Selbstkontrolle stattfinden können.

Ort, Datum, Unterschrift