

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Entwicklungsarbeit: (Digital) Game-based Learning im (Freiland-)Unterricht zum
Thema Bestäubungsbiologie

verfasst von | submitted by

Laura Landl BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2026

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 502 506 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Biologie und Umweltbildung Unterrichtsfach
Deutsch

Betreut von | Supervisor:

ao. Univ.-Prof. i.R. Dr. Michael Kiehn

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	1
1 Einleitung.....	2
2 Methoden.....	4
3 Didaktischer Teil.....	4
3.1 <i>Didaktische Rekonstruktion</i>	<i>4</i>
3.2 <i>Conceptual Change</i>	<i>7</i>
3.3 <i>Konstruktivismus.....</i>	<i>9</i>
3.4 <i>Alltagsvorstellungen im Unterricht.....</i>	<i>10</i>
3.5 <i>Serious Games: Definitionen und Abgrenzung.....</i>	<i>13</i>
3.6 <i>Game-based Learning</i>	<i>15</i>
3.7 <i>Gamification</i>	<i>18</i>
4 Blütenbiologie	23
4.1 <i>Perianth.....</i>	<i>24</i>
4.1.1 <i>Floralsymmetrie</i>	<i>25</i>
4.2 <i>Staubblätter.....</i>	<i>25</i>
4.2.1 <i>Pollen.....</i>	<i>27</i>
4.3 <i>Fruchtblätter.....</i>	<i>28</i>
4.4 <i>Nektarien.....</i>	<i>29</i>
4.5 <i>Infloreszenzen.....</i>	<i>30</i>
4.6 <i>Früchte und Fruchtausbreitung.....</i>	<i>32</i>
4.7 <i>Fruchtausbreitung.....</i>	<i>35</i>
5 Bestäubung und Befruchtung	37
5.1 <i>Bestäubung</i>	<i>37</i>
5.2 <i>Wasserbestäubung (Hydrophilie)</i>	<i>38</i>
5.3 <i>Windbestäubung (Anemophilie)</i>	<i>38</i>
5.4 <i>Tierbestäubung (Zoophilie).....</i>	<i>40</i>
5.4.1 <i>Blumentypen</i>	<i>43</i>
5.4.2 <i>Blumenstile und ihre Syndrome</i>	<i>44</i>
5.5 <i>Formen unterschiedlicher Zoophilie</i>	<i>45</i>
5.5.1 <i>Käferblumen/ Käferbestäubung (Cantharophilie)</i>	<i>45</i>
5.5.2 <i>Fliegenblumen/ Fliegenbestäubung (Myiophilie)</i>	<i>46</i>
5.5.3 <i>Bienenblumen/Bienenbestäubung (Melittophilie)</i>	<i>47</i>
5.5.4 <i>Wespenblumen/Wespenbestäubung (Sphecophilie).....</i>	<i>50</i>
5.5.5 <i>Falterbestäubung – Lepidopterophilie</i>	<i>51</i>
5.5.6 <i>Vogelblumen/Vogelbestäubung (Ornithophilie).....</i>	<i>52</i>
5.5.7 <i>Fledermausblumen/Fledermausbestäubung (Chiropterophilie).....</i>	<i>54</i>
5.6 <i>Befruchtung (Vorgang)</i>	<i>55</i>
6 Empirischer Teil – Aufbau des Fragebogens und Diskussion der Ergebnisse	57

6.1	<i>Aufbau</i>	57
6.2	<i>Erhobene Daten und Diskussion</i>	59
6.2.1	Auswertung der Fragen	61
6.2.2	Diskussion der Ergebnisse	65
7	Beschreibung des erstellten Lernspieles	70
8	Fazit	74
9	Literaturverzeichnis	77
10	Zusammenfassung	82
11	Abstract	83
	Danksagung	84
	Anhang	86
	<i>Fragebogen</i>	86
	<i>Unterrichtsplanung nach Vorlage des AECC</i>	91
	<i>„Mission Bestäubung“</i>	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Das Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann (2005)	6
Abbildung 2 Lage der Fruchtknoten nach Kadereit et al. (2014)	29
Abbildung 3 Rüssel einer Honigbiene ausgebreitet nach Weber (1956) in Dettner, Peters (2010)	48
Abbildung 4 Schulformen der Teilnehmenden	60
Abbildung 5 Unterrichtsfächer der Befragten	61
Abbildung 6 Spieleinsatz im Unterricht (F5)	62
Abbildung 7 Zustimmung zur Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Spielen im Biologieunterricht.....	63
Abbildung 8 Geeignete Themen für den Einsatz digitaler Spiele.....	64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Demographie der Stichprobe	59
--	----

1 Einleitung

Der Einsatz digitaler Medien, etwa in Form von Lern-Apps, und spielbasierter Lernformen wurde vor allem während der Covid-19 Pandemie populärer. Besonders der naturwissenschaftliche Unterricht bietet die Möglichkeit, komplexes Fachwissen und abstrakte Abläufe mithilfe von spielerischen Ansätzen zu vermitteln, Motivation und Interesse zu fördern und Lernende von einer passiven in eine aktive Rolle zu bringen. Lern-Apps in Form von Bestimmungsapps wie Pl@ntnet, Flora Incognita oder iNaturalist bieten sich ebenso an, den Biologieunterricht im Freiland abzuhalten und so die Artenkenntnis der Schüler*innen zu fördern. Dennoch werden die zentralen Begriffe „Game-based Learning“ und „Gamification“ oft synonym verwendet, wodurch eine konkrete Abgrenzung in der Literatur in Bezug auf die didaktischen Implikationen verschwimmen. Obwohl beide spieltheoretische Ansätze das Ziel haben, Motivation und Interesse am Fach zu steigern, unterscheiden sie sich in der Anwendung. So zielt Game-based Learning darauf ab, vollständige Spiele oder Spielsequenzen in den Unterricht einzubauen, werden bei dem Gamification-Ansatz Spielelemente, wie Punkte, Abzeichen oder Ranglisten, in Lernkontexte eingebaut. In bisherigen Studien, Wang et al. (2022), Sailer & Homner (2020), Kalogiannakis et al. (2021), finden sich zwar Beispiele zur Integration von Lernspielen in naturwissenschaftlichen Unterrichtseinheiten, unter anderem zu den Themen Genetik, Ökologie oder Evolution, jedoch mangelt es an didaktischen Leitlinien, wie diese Methoden konkret im Fachkontext eingesetzt werden können. Hinzu kommt, dass die Verwendung und lerntheoretischen Auswirkungen von Lernspielen im Freiland-Biologieunterricht kaum untersucht sind. Gerade im Biologieunterricht, der Experimentieren, Beobachten und das Verstehen von komplexen Zusammenhängen inkludiert, bietet das Lernen durch Spiele die Möglichkeit, eine Verbindung zwischen theoretischem Wissen, Erfahrungen und Verständnis herzustellen. An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an. Ausgehend von dem Forschungsstand widmet sich die vorliegende Arbeit den folgenden Fragestellungen:

- Wie können Game-based Learning und Gamification voneinander abgegrenzt werden? Und weiterführend: Welche didaktischen Implikationen ergeben sich aus beiden Ansätzen in Bezug auf den Biologieunterricht?
- Inwiefern beeinflussen morphologische Unterschiede von Blüten die Spezialisierung verschiedener Bestäubergruppen? Weiterführend: Welche Rolle spielen Farb-, Nektar- und Duftmerkmale bei der Anlockung spezifischer Bestäuberarten?
- In welchem thematischen Rahmen können Lern-Apps bzw. Lernspiele im Biologieunterricht, speziell im Freilandunterricht, zur Bestäubungsökologie eingesetzt werden?

Wie in Punkt 2 „Methoden“ näher beschrieben wird, basiert die Beantwortung dieser Fragen auf unterschiedlichen Methoden. Zunächst wird im didaktischen Teil Hintergrundwissen, spezifisch zur Didaktischen Rekonstruktion und dem Conceptual Change, mittels umfangreicher Literaturanalyse erläutert. Ebenso wird die Abgrenzung zwischen (digital) Game-based Learning und Gamification präzisiert und weiterführend wird deren Einsatz im Biologieunterricht geklärt. Dabei werden zentrale Definitionen und Modelle aufgegriffen, die sich unter anderem auf Texte von Kerres (2018), Prensky (2001) oder Deterding et al. (2011) beziehen. In weiterer Folge wird die Bestäubungsökologie intensiv behandelt. Diese bietet sich im Biologieunterricht aufgrund ihres lebensweltlichen Bezugs und diverser Anschauungsmöglichkeiten an, eine Verbindung zwischen digitalen Spielen und dem Wissenserwerb zur Bestäubungsökologie herzustellen. Ergänzend wurde ein Fragebogen entwickelt, um Biologielehrpersonen der Sekundarstufe 1 zu ihren Haltungen, Einschätzungen und Erfahrungen zum Einsatz von Spielen im Biologieunterricht zu befragen. Die Auswertung erfolgt deskriptiv-statistisch in Excel. Die Ergebnisse des Fragebogens sowie der theoretischen Grundlagen fließen in die Konzeption des entwickelten Lernspiels „Mission Bestäubung“, das mit der App Actionbound umgesetzt wird. Es soll biologische Fachinhalte zur Bestäubungsökologie mit spielerischen und digitalen Elementen verbinden und den Schüler*innen die Möglichkeit bieten, den Botanischen Garten Linz interaktiv zu erkunden.

Die vorliegende Arbeit soll zeigen, wie theoretische Lernmodelle und naturwissenschaftliches Wissen spielerisch im naturwissenschaftlichen (Freiland-)Unterricht eingesetzt werden können.

2 Methoden

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden unterschiedliche Methoden gewählt. Einerseits basiert ein Großteil dieser Arbeit auf einer literaturbasierten Methodik, die das Ziel hat, biologische Grundlagen zur Blütenbiologie und Bestäubungsökologie aufzuarbeiten. Die Literaturrecherche erfolgt hauptsächlich über die Literaturdatenbank der Universitätsbibliothek Wien (u:search), jedoch werden ebenso Datenbanken wie ResearchGate, Google Scholar oder der Bibliothekskatalog „Literature Search Support Service (LISSS)“ der Johannes-Kepler-Universität Linz verwendet. Berücksichtigt wurden sowohl theoretische als auch empirische Arbeiten. Zur Ergänzung der literaturgestützten Arbeit wurde ebenso ein Fragebogen für Biologielehrpersonen der Sekundarstufe 1 in Österreich entwickelt. Dieser hat zum Ziel, Nutzungserfahrungen von Spielen im Biologieunterricht, Bekanntheit der Methoden und Themen und Einschätzungen zum Einsatz digitaler Lernspiele zu erheben. Die erhobenen Daten werden mittels deskriptiv-statistischer Methoden (Häufigkeitsverteilungen, Mittelwertanalysen) in Excel ausgewertet. Die offenen Antworten werden nach inhaltlichen Kategorien geordnet. Diese Ergebnisse fließen ebenso in die Erstellung des Lernspiels ein. Das Lernspiel kombiniert somit neben den Ergebnissen des Fragebogens die biologisch-theoretischen Teile der Arbeit sowie diverse didaktische Ansätze. Vor allem die Didaktische Rekonstruktion, Conceptual Change und das Einbeziehen von Schüler*innenvorstellungen wurden herangezogen. Mithilfe der App „Actionbound“ wird das Thema Blütenmorphologie und Bestäubungsökologie digital im Botanischen Garten Linz spielerisch erarbeitet.

3 Didaktischer Teil

3.1 Didaktische Rekonstruktion

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion, kurz MDR, stellt seit einigen Jahren ein bedeutendes und zentrales Konzept in der (biologiedidaktischen) Lehr-Lern-Forschung

sowie in der Bildungspraxis dar. Die Didaktische Rekonstruktion bietet einen Rahmen in der naturwissenschaftlichen Forschung, in der Unterrichtsplanung und bei der Reflexion von Unterricht. Eines der grundlegenden Ziele des Modells soll nach Kattmann (2007) *„die Vermittlung von Wissensbeständen und die damit verbundenen pädagogischen Aspekte in ein Gleichgewicht zu bringen“* (Kattmann 2007, S. 93) sein. Da oft in Forschungsprojekten jedoch nur einer dieser Punkte bearbeitet wird, arbeitet das Modell der didaktischen Rekonstruktion daran, diese Seiten miteinander zu verbinden. So beziehen sich auch die drei zuvor genannten Forschungsschritte der didaktischen Rekonstruktion ständig aufeinander (vgl. Kattmann 2007, S. 93f): *„Die drei Untersuchungsaufgaben sind nicht unabhängig voneinander zu erledigen, sondern in stetem Rückbezug zueinander, sodass ein rekursives Vorgehen geboten ist.“* (Kattmann 2007, S. 94).

Grob kann das Modell in drei Teile gegliedert werden, die sich in ständiger, wechselhafter Beziehung zueinander befinden: die fachliche Klärung, die Erhebung von Schüler*innenperspektiven (das inkludiert etwa Vorstellungen oder bereits vorhandene Kompetenzen) und die didaktische Strukturierung. Die fachliche Klärung fordert eine präzise und kritische Analyse der fachlichen Inhalte zum bearbeiteten Thema. Gropengießer et al. (2015) weisen darauf hin, dass besonders in Hinsicht auf Lehr- und Schulbücher kritisch gearbeitet werden muss und dass die Inhalte *„nicht einfach übernommen“* (Gropengießer et al. 2015, S. 12) werden (vgl. Gropengießer et al. 2015, S. 12). Zusätzlich zur fachlichen Inhaltsanalyse sollten in der fachlichen Klärung die Methoden, die Termini und die Theorien der jeweiligen Fachwissenschaft kontrolliert werden. Das inkludiert sowohl ältere als auch aktuelle Werke der Fachwissenschaften (vgl. Kattmann 2007, S. 94f). Die Erfassung von Lernperspektiven setzt den Fokus auf die Erhebung von Vorstellungen, Erfahrungen oder Kompetenzen. Alle Schüler*innen kommen mit unterschiedlichen Präkonzepten, kognitiven Werkzeugen und Voraussetzungen in den Unterricht. Daher gilt es, diese als Lehrperson zu (er)kennen, zu erheben und im Unterricht zu berücksichtigen (vgl. Gropengießer 2015, S. 12). In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung wird das Erfassen der Lernperspektiven auch genutzt, um etwa Interessenforschung zu betreiben oder um die individuellen Ausgangspunkte der Lerner*innen zu verstehen. Als dritter Teil des Modells der didaktischen Rekonstruktion gilt die didaktische Strukturierung, welche nach Kattmann

(2007) als Planungsprozess zu sehen ist, „*der zu grundsätzlich und verallgemeinerbaren Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen für den Unterricht führt (Design von Lernangeboten, Gestaltung von Lernumgebungen)*.“ (Kattmann 2007, S. 96). In diesem Prozess werden fachliche und interdisziplinäre Aspekte inkludiert. Dieser didaktische Prozess geht rekursiv vor und zieht somit die beiden vorhergehenden Bereiche mit ein, was dazu führt, dass in der Unterrichtsplanung, in der Gestaltung von Lernumgebungen und -sequenzen oder auch bei Angeboten die fachlichen Erkenntnisse, Methoden und Theorien Teile eines lebensweltlichen und individuellen Unterrichts sind. Als Folge dieses Vorgehens sollen die Lernenden ihre Vorstellungen in einer fachlich korrekten Weise weiterentwickeln und einen Lernfortschritt beobachten können (vgl. Kattmann 2007, S. 96).

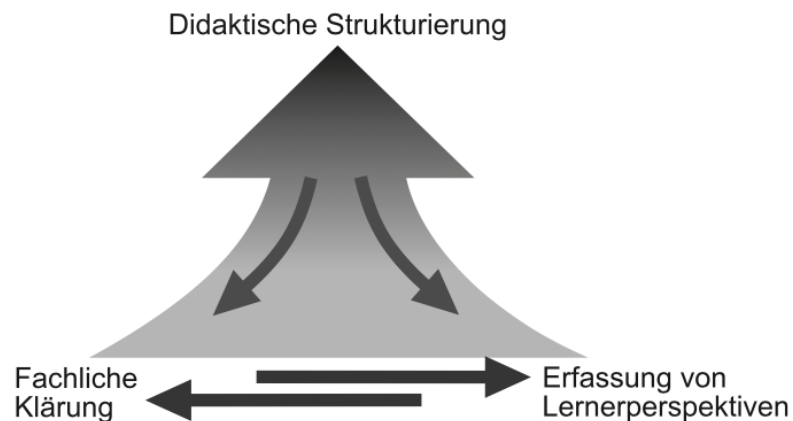


Abbildung 1 Das Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann (2005)

Beispiele, bei denen die didaktische Rekonstruktion als Forschungsmethode herangezogen wurde, sind etwa bei Baalman et al. (2004) oder bei Gropengießer und Weitzel (2009) zu finden. In der Studie von Gropengießer und Weitzerl zur Vorstellungsentwicklung zum Thema stammesgeschichtliche Anpassung wird untersucht, inwiefern die Schwierigkeiten der Schüler*innen bei diesem Themengebiet mithilfe der didaktischen Rekonstruktion anhand von Lernangeboten, die mit ihren Vorstellungen übereinstimmen, fachlich korrekt bearbeitet werden können. Hierbei wurden die Vorstellungen der Lerner*innen mittels Interview- und Vermittlungsphasen erhoben, welche zusammen mit den fachlichen Vorstellungen zur stammesgeschichtlichen Anpassung zu einem Lernangebot entwickelt wurden. Es zeigt sich, dass viele der für das Verständnis notwendigen Konzepte nur selten abgerufen

werden (vgl. Weitzel, Gropengießer 2009, S. 290f, 301f). Eine weitere Untersuchung von Kattmann hat gezeigt, wie anhand der didaktischen Rekonstruktion Vorstellungen zu Anthropomorphismen verwendet werden können, um sinnvoll Wissen zu vernetzen und sich Fachwissen anzueignen (vgl. Kattmann 2005, S. 166ff).

3.2 Conceptual Change

Im Zusammenhang mit den Schüler*innenvorstellungen ist ebenso der Prozess des Conceptual Change zu nennen. Dabei ist zwischen vier unterschiedlichen Ansätzen zu unterscheiden. Von Posner et al. (1982), Vosniadou (2007), diSessa (1998) oder Chi et al. (1994) wurde der theoretische Grundstein in der Beschreibung des Vorgangs des Wechsels von Konzepten beschrieben. Die Autor*innen unterscheiden dabei zwischen Veränderungen von Rahmentheorien, Veränderungen der Seinskategorie, einem Wechsel in der Erkenntnisweise oder einer Konzeptentwicklung in Form von „Knowledge in pieces“. Weitere Ansätze sind die Einflussfaktoren, die Initiierung einer Konzeptentwicklung und an letzter Stelle die Ausarbeitung von Lernangeboten. Zu letzterem ist die didaktische Rekonstruktion zu zählen. Den unterschiedlichen theoretischen Rahmen liegt zugrunde, dass es sich jeweils um einen Prozess der Wissensentwicklung handelt (vgl. Gropengießer, Marohn 2018, S. 57ff). Posner et al. (1982) betonen in ihrem grundlegenden, theoretischen Beitrag zum Conceptual Change, dass zu Beginn eines Prozesses ein kognitiver Konflikt steht. Das bedeutet, dass die Schüler*innen mit einer ihrer vorherigen Vorstellungen zu einem Thema oder Phänomen unzufrieden sein müssen, da sie mithilfe dieser Vorstellung das neue Phänomen nicht ausreichend erklären können. Wichtig dabei ist, dass das neue Wissen für die Lernenden rational erklärbar ist. Die Autor*innen greifen in ihrer Beschreibung des konzeptuellen Wechsels auf Philosoph*innen und deren Darstellung des Conceptual Change in der Wissenschaft zurück. Dabei werden zwei Phasen in Hinsicht auf Lernprozesse unterschieden: die Assimilation und die Akkommodation (vgl. Posner et al. 1982 S: 223f, 212).:

„Sometimes students use existing concepts to deal with new phenomena. This variation of the first phase of conceptual change we call assimilation. Often, however, the students' current concepts are inadequate to allow him to grasp some new phenomenon successfully. Then the student must replace or reorganize his central

concepts. This more radical form of conceptual change we call accommodation“.
(Posner et al 1982, S. 212)

Voraussetzungen für einen Conceptual Change sind die Unzufriedenheit mit dem vorherrschenden Konzept, ausreichendes Verständnis des neuen Wissens, Plausibilität und Fruchtbarkeit. Die Lernenden müssen zuerst erkennen, dass ihre Vorstellungen bzw. ihr Wissen nicht ausreichen, um bestimmte Phänomene zu erklären, woraus sich Unzufriedenheit entwickelt. Das neue Konzept muss für die Schüler*innen verständlich und rational erklärbar sein sowie die Möglichkeit bieten, mithilfe des neu gewonnenen Wissens das konfliktverursachende Phänomen plausibel zu ergründen. Schlussendlich sollte sich ein Potenzial entwickelt haben, das dabei hilft, den Mehrwert in dem neuen Konzept zu erkennen und auch auf weitere Bereiche erweitert zu werden (vgl. Posner et al. 1982, S. 213f). Ein verwandter Ansatz ist die Conceptual Reconstruction, welcher die Veränderung von Wissensstrukturen als Rekonstruktion beschreibt. Dabei werden die Schüler*innen selbst aktiv und es ist zentral, dass ihre Vorstellungen dabei nicht verworfen und durch ein neues Konzept ersetzt werden, sondern vielmehr durch kritische Reflexion neu konstruiert werden. Es wird somit eine Verbindung zwischen dem Vorwissen, in Form von möglichen Lernhilfen und Anknüpfungspunkten, und biologisch fundiertem Wissen geschlagen. Bei der Conceptual Reconstruction werden die Neukonstruktion und die aktive Rolle der Schüler*innen in den Vordergrund gerückt (vgl. Krüger 2007, S. 82f). Benesch und Winkler (2016) von der Pädagogischen Hochschule Niederösterreich zeigen, wie der Conceptual Change in der Sekundarstufe 1 im Biologieunterricht eingesetzt werden kann. Dabei greifen sie auf das Thema Wasser und den Einstieg in die Ökologie in der 6. Schulstufe zurück. Einerseits wird auf die Schüler*innenvorstellungen eingegangen, indem die Vermutungen der Schüler*innen zu einem Thema erfasst werden. Im Anschluss werden die Jugendlichen in Gruppen eingeteilt, die sich mit unterschiedlichen Unterthemen (Regen, Bedeutung des Wassers, Grundwasser/Quellwasser, Verwendung der Wasserressourcen) beschäftigen. In jeder dieser Gruppen gibt es Aufgaben oder Fragen, die die Lernenden vor einen Konflikt stellen, die meist nicht mit ihren Vorstellungen korrelieren. Während der Bearbeitung der Themen soll es zu einem Konzeptwandel durch Konfrontationen mit neuem Wissen kommen, wobei die Vorstellungen der Schüler*innen und ein lebensnaher Bezug zentral sind, um ihr Wissen weiterzuentwickeln. (vgl. Benesch, Winkler 2016, S. 4ff).

3.3 Konstruktivismus

Einhergehend mit dem Conceptual Change, den Schüler*innenvorstellungen sowie der didaktischen Rekonstruktion sollte ebenso der Konstruktivismus in seiner Basis beschrieben werden.

Wie Riemeier (2007) schreibt, geht der Konstruktivismus davon aus, dass Lernende verfügbare Vorstellungen mitbringen und ihr Wissen aktiv, selbstgesteuert und prozessartig konstruieren. Der moderate Konstruktivismus, eine Bezeichnung, die die Erkenntnistheorie in Verbindung mit dem Lernen setzt, stellt den Wissenserwerb bzw. die Veränderung von Wissen durch neues Wissen in den Vordergrund. Somit sind der Lernprozess und die Lernenden im Mittelpunkt. Als Grundlagen der konstruktivistischen Lernauffassung gelten folgende fünf Merkmale (vgl. Riemeier 2007, S. 69f): „*Lernen ist konstruktiv; [...] Lernen ist selbstdeterminiert; [...] Lernen ist individuell; [...] Lernen ist sozial; [...], Lernen ist situiert [...]*“ (Riemeier 2007, S. 69f). Der Lernprozess wird somit als aktive Konstruktion gesehen, bei der die Lernenden auf Basis ihrer bisherigen Vorstellungen Informationen aufnehmen und in ihr bestehendes Konstrukt eingliedern. Dieser Prozess läuft ohne Auswirkung oder Steuerung von der Umgebung ab, wobei diese den Lernprozess unterstützen oder auch auslösen kann. Weiters zeigt sich, dass Lernen ein individueller Prozess ist, der aber auch in sozialen Gruppen stattfinden kann. Riemeier (2007) betont an dieser Stelle die Wichtigkeit des Austausches von Wissen, Ideen oder Vermutungen. Der Faktor der Lernumgebung bzw. der Lernsituation spielt im Lernprozess ebenso eine Rolle, da das Lernen an soziale und inhaltliche Kontexte gebunden ist. Für den Biologieunterricht bedeutet dies, dass Lehrpersonen „*Lernangebote [...] schaffen, in denen ausgehend von den Vorerfahrungen ein Konstruieren und Restrukturieren von Vorstellungen möglich sind*“ (Riemeier 2007, S. 72). Das heißt konkret, dass die Vorerfahrungen der Schüler*innen bekannt sein müssen und die Lehrenden darüber Bescheid wissen müssen, wie diese in einem fachlich korrekten Rahmen verändert werden können. Die Vorstellungen und Vorerfahrungen sollen in den Lernprozess integriert werden, um in weiterer Folge als Lehrperson auf diese in Form von Lernangeboten und einer Lernumgebung angemessen zu reagieren. Daraus sollte die

aktive Konstruktion, also der Lernprozess, in Form von veränderten Vorstellungen resultieren. (vgl. Riemeier 2007, S. 70-75).

3.4 Alltagsvorstellungen im Unterricht

Alltagsvorstellungen, auch als Schüler*innenvorstellungen oder präkonzeptuelle Vorstellungen bekannt, sind Vorstellungen, die Schüler*innen in den Unterricht mitnehmen und die oft dabei helfen sollen, fachliche Konzepte greifbar oder erklärbar zu machen. Jene Vorstellungen basieren auf Alltagserfahrungen und sind häufig intuitiv und subjektiv. Es handelt sich dabei um individuelle Prozesse, die bei der Aneignung und der Bewertung neuen und fachlichen Wissens helfen sollen. Unter dem Begriff „Vorstellungen“ oder auch „conceptions“ werden *„subjektive gedankliche Konstruktionen“* (Gropengießer, Marohn 2018, S. 51) verstanden (vgl. Gropengießer, Marohn 2018, S. 50-52). Baalman et al. (2004) skizzieren den Begriff als *„Kognitionen, also Verständnisse und Gedanken (zu einem bestimmten Sachgebiet)“* (Baalman et al. 2004, S. 8). Um auf den moderaten Konstruktivismus zurückzugreifen, wird bei Baalman et al. (2004) auch darauf hingewiesen, dass die Prozesse der Vorstellungsbildung selbst konstruiert werden und nicht weitergegeben oder aktiv aufgenommen werden (vgl. Baalman et al. 2004, S.8). „Vorstellungen“ oder „conceptions“ ist als Sammelbegriff zu verstehen, unter dem man Termini wie Weltbild, Theorie, Denkfigur, Begriff, Konzept oder Denkfigur unterordnen kann (vgl. Gropengießer, Marohn 2018, S. 52).

Gebhard (2007) unterscheidet dabei zwischen explizierten Vorstellungen, also jenen, die vokalisiert werden können, und impliziten Vorstellungen. Letztere umfassen sowohl Intuitionen als auch Assoziationen und emotionale Reaktionen. Gebhard wirft ebenfalls den Begriff der „Alltagsphantasien“ auf, die eher als implizite Vorstellungen zu verstehen sind und einen großen Einfluss auf Interessen oder Werte haben können: *„Mit dem Begriff „Alltagsphantasien“ soll sprachlich markiert werden, dass es sich hierbei um eine besondere Form von Alltagsvorstellungen handelt.“* (Gebhard 2007, S. 118). Sie bieten auch die Chance, länger andauerndes Interesse oder dauerhafte Wissensbildung zu fördern (vgl. Gebhard 2007, S. 118). Da sich die Alltagsvorstellungen häufig von den wissenschaftlichen Erkenntnissen unterscheiden, zeigt sich, dass diese der Schüler*innen durch Lernprozesse verändert oder neue Vorstellungen kultiviert werden. Dies geschieht etwa dadurch, indem die Lernenden mit (natur)wissenschaftlichen

Vorstellungen konfrontiert werden. Dies kann etwa, wie Baalman et al. (2007) in einer Studie zu Vorstellungen zu Anpassungsprozessen zeigen, etwa durch didaktische Rekonstruktion passieren. Dabei wurden mithilfe von Interviews die Vorstellungen zu Denkfiguren und Konzepten erhoben, wobei drei unterschiedliche und wesentliche Ansätze identifiziert werden konnten (vgl. Baalman et al. 2007, S: 9f). Die Studie von Zabel und Gropengießer (2011) zu evolutionären Veränderungen erhebt mithilfe von Interventionen den Lernfortschritt der Schüler*innen mittels Pre- und Post-Test-Aufgaben und geht gleichzeitig auf die individuellen Vorstellungen der Schüler*innen ein (vgl. Zabel, Gropengießer 2011, S. 145). Im „Gemeinsamen Referenzrahmen für Naturwissenschaften“ (GeRRN) wird darauf verwiesen, dass durch „conceptual change“ oder didaktischer Rekonstruktion die Vorstellungen der Schüler*innen nicht ersetzt werden sollten, sondern an jene Vorstellungen mithilfe von wissenschaftlichen Konzepten angeknüpft und diese ergänzt werden sollten. Ziel dieses Lernprozesses soll sein, den Vorstellungen eine weitere Perspektive oder einen wissenschaftlichen Blickwinkel gegenüberzustellen und so zu einem kognitiven Konflikt zu kommen. Die Alltagsvorstellungen können dabei helfen, biologische Theorien oder Sachverhalte greifbar zu machen (Eisner et al. 2019, S. 6f):

„Es muss den Lernenden Zeit und Gelegenheit gegeben werden, über die jeweiligen Vorstellungen zu reden und zu reflektieren, damit ihnen die Schritte hin zu tragfähigen Vorstellungen besser gelingen.“ (Eisner et al. 2019, S. 8)

Obwohl die Alltagsvorstellungen oft im Gegensatz zu den fachlichen Erkenntnissen stehen, sollten sie nicht als Fehlvorstellungen, sondern als mögliche Lernhilfe gehandhabt werden (vgl. Gropengießer et al. 2015, S. 52).

Eine Alltagsvorstellung, die bei dem Erreichen eines bestimmten Kompetenzniveaus verändert sein sollte ist beispielsweise *„Pflanzen bewegen sich nicht und sind daher uninteressant“* (Eisner et al. 2019, S. 27). Hinsichtlich der Alltagsvorstellungen zum Thema Bestäubungsbiologie kann beispielsweise die Studie von Lampert et al. (2018) genannt werden, die mittels Interviews zu Alltagsvorstellungen von sieben Schüler*innen der 5. Schulstufe erhoben worden sind. Dabei stellt sich vor allem heraus, dass es Unklarheiten in der Trennung der Begriffe „Bestäubung“ und „Samenausbreitung“ gibt:

„Hierbei kann unterschieden werden zwischen Vorstellungen, in denen Bestäubung und Samenausbreitung durchwegs vermengt werden, und

Vorstellungen, in denen die Vermengung der beiden Prozesse nur bei der „Windbestäubung“ besteht.“ (Lampert et al. 2018, S. 70)

Besonders Windbestäubung führt zu Unsicherheiten. Wenn von der Tierbestäubung gesprochen wird, greifen die Schüler*innen auf die Übertragung des Blütenstaubs durch die Bestäuber auf Blüten zurück. Sprechen sie jedoch von der Windbestäubung, wird stattdessen von einer Ausbreitung durch „Samen“ gesprochen. Somit kann darauf geschlossen werden, dass die Trennung der Begriffe „Samen“ und „Blütenstaub“ bzw. den Unterschied von „Bestäubung“ und „Samenbildung und -verteilung“ zu Verständnisschwierigkeiten führen kann. Eine weitere Vorstellung zur Bestäubung ist jene, dass sie nur als Nebeneffekt auftritt. Bei dieser Vorstellung steht nicht die Bestäubung im Vordergrund des Blütenbesuchs, sondern die Nahrungssuche. Obwohl diese Vorstellung fachlich mehrheitlich korrekt ist, wird sie oft mit der Vorstellung der unabsichtlichen Pollenübertragung kombiniert (vgl. Lampert 2018, S. 70f). Folgend auf die Interviews mit den Schüler*innen der 5. Schulstufe wurden 724 Schüler*innen der Sekundarstufe 1 und 2, also im Altersrahmen von 10-18 Jahren, zum Thema „Fortpflanzung bei Pflanzen“ befragt. Dabei wurden drei Aufgabentypen verwendet: Zuerst sollten die Schüler*innen die Fortpflanzung und Samenverteilung einer Pflanze zeichnen und in Worten erklären. Im Anschluss wurde eine Zeichnung des Lebenszyklus einer Pflanze abgebildet, den die Schüler*innen schriftlich beschreiben sollen. Im Rahmen der dritten Aufgabe wurde ein Concept Cartoon mit vier Aussagen zur Verfügung gestellt, bei dem drei der Aussagen auf zuvor erhobenen Vorstellungen zur Bestäubungsbiologie und Samenverteilung basieren. Die Aufgabe der Schüler*innen hier ist es, zu erklären, welchem der vier Kinder sie in ihren Aussagen zustimmen und warum. In den Ergebnissen wird geschildert, dass die Ergebnisse der zuvor durchgeführten Interviewstudie insofern bestätigt werden konnten, als auch in dieser Erhebung die Unterscheidung zwischen Bestäubung und Samenausbreitung zur Verständnisproblem geführt hat: *„The mixing of pollination and seed dispersal further indicates that many students miss the connection between those processes and lack understanding of sexual reproduction in plants“* (Lampert et al. 2019, S. 257). Nur wenige der Schüler*innen (7,33 %) konnten den Unterschied zwischen Bestäubung (Pollen transfer von einer Pflanze zur nächsten) und Samenausbreitung (Samentransfer von einer Pflanze zum Boden) korrekt beschreiben. Es konnte weiters erhoben werden, dass Schüler*innen

sich zwar über die Rolle von Bienen in der pflanzlichen Fortpflanzung bewusst sind, jedoch der Zusammenhang zwischen dem Pollen und den Bestäubern häufig nicht gegeben ist (vgl. Lampert et al. 2019, S. 251-259).

3.5 Serious Games: Definitionen und Abgrenzung

Die Vertragsstaaten erkennen das Recht des Kindes auf Ruhe und Freizeit an, auf Spiel und altersgemäße aktive Erholung sowie auf freie Teilnahme am kulturellen und künstlerischen Leben. (Unicef 1989, S. 35f)

Der Begriff „Serious Games“ ist in sich ein Oxymoron. Gaming oder Spiele werden meist mit Wörtern wie Spaß, Freude, Aktivitäten, aber auch mit Regeln und Wettbewerb verbunden. Sie können in unterschiedlichen Kontexten eingesetzt werden, in der Freizeit, in Bildungskontexten und ferner auch in der Arbeitswelt. Ihnen ist jedoch gemeinsam, dass sie eine unterhaltsame Komponente innehaben. „Serious“ oder „ernst“ bezeichnet in diesem Zusammenhang den Fokus auf das pädagogische, informative oder lehrreiche Interesse (vgl. Abt 1970, S. 5,10ff):

„The oxymoron of Serious Games unites the seriousness of thought and problems that require it with the experimental and emotional freedom of active play. Serious games combine the analytic and questioning concentration of the scientific viewpoint with the intuitive freedom and rewards of imaginative, artistic acts.“ (Abt 1970, S.11f)

Serious Games können nicht mit einer einzigen Definition erklärt werden. Da sie in vielen Sparten zum Einsatz kommen können, neben der Schule oder der Hochschulbildung etwa auch in der Gesundheitsbranche, im Informatik- und Technologiekontext oder auch in der Freizeit, ist das Abgrenzen des Begriffs schwierig. Grundlegend sehen Serious Games vor, Wissen zu vermitteln, und sie weisen thematische Übereinstimmung mit dem zu lernenden Thema auf. Die Spannung bzw. die Motivation, das Lernspiel durchzuführen und sich dabei Wissen anzueignen und dieses in weiterer Folge anzuwenden, wird unter anderem durch die steigende Komplexität in Form von Levelaufstiegen erzielt (vgl. Maskeliunas et al. 2020, S. 81f). Eine mögliche Definition zu Serious Games oder eher Games im Allgemeinen aufzustellen, versuchen Salen und Zimmermann (2000): „A game is a system in which players engage in an artificial conflict, defined by rules, that results in a quantifiable outcome“ (Salen, Zimmermann 2004, o.S.). Clark Abt (1970) sieht in so gut wie jedem curricularem Thema eine Möglichkeit, Konflikte oder „competitive

elements“ (Abt 1970, S. 29) in Form von Spielen im Unterricht einzubauen. Laut Abt (1970) können Spiele oder Serious Games im Unterricht dafür sorgen, dass die Schüler*innen nicht nur aktiv(er) am Unterricht teilnehmen und zusammenarbeiten, sondern auch, dass sich die Rolle der Lehrpersonen ändert: *„A teacher using educational games becomes more of a research director and coach than a lecturer and disciplinarian“* (Abt 1970, S.30). Das liegt vor allem daran, dass die vorgegebenen Regeln im Spiel einerseits dafür sorgen, die Schüler*innen beim Spielen zu leiten, andererseits sorgt das Vorhandensein von Regeln auch dafür, dass die Schüler*innen sich an ihnen orientieren. Grund dafür könnte sein, dass das Spiel bei Nichtbefolgen des Regelwerkes beendet wird (vgl. Abt 1970, S. 29f).

Serious Games werden im schulischen Kontext auch oft mit Game-based Learning in Verbindung gebracht, da es eine starke Verbindung zwischen ihren Zielen und ihrem Einsatz gibt (vgl. Plass et al. 2015, S. 259). Die Abgrenzung zwischen den beiden Begriffen, die häufig synonym verwendet werden, ist jedoch erforderlich:

„Game-based learning, however, can be seen as an approach to teaching in educational contexts [...]. With a specific learning goal in mind, a learning task is redesigned to make learning more interesting and more effective.“ (Schrader 2023, S. 1257)

Serious Games oder Lernspiele werden somit oft als Mittel bei Game-based Learning-Ansätzen verwendet. Ausschlaggebend ist jedoch, dass Serious Games auch außerhalb der schulisch-erzieherischen Institutionen verwendet werden, während GBL eine Lehrmethode darstellt, die Inhalte und Lernaufgaben spielerisch darstellen. Bei Serious Games handelt es sich um Spiele, die zu einem Trainings- oder auch Lernzweck in unterschiedlichen Bereichen entwickelt worden sind, wie etwa im Marketing oder Gesundheitsbereich (vgl. Schrader 2023, S. 1257). Ein Beispiel dafür wäre die App „MyDiabetes“, die Betroffene dabei unterstützt, den Krankheitsverlauf besser zu verstehen, zu überwachen und die eigene Gesundheit besser zu pflegen (vgl. Tuah et al. 2021, S. 53). Game-based Learning verfolgt auf der anderen Seite jedoch das Interesse, Wissen spielerisch zu vermitteln, wobei auch kommerzielle Spiele zum Einsatz kommen können, die für den Lernzweck eingesetzt werden (vgl. Schrader 2023, S. 1257f).

Prensky (2001) beschreibt in seinem Werk zum digitalen Game-based Learning, dass Spaß am Lernen dazu führen kann, dass die Lernenden mehr Motivation, Entspannung und Willen, sich Neues anzueignen, verspüren. Dies kann unter anderem durch den

Vorgang des Spielens initiiert werden. Somit kann festgehalten werden, dass das Lernen und das Aneignen von neuem Wissen durch die Kombination von Spaß und Spielen begünstigt werden. Spiele im schulischen als auch im privaten Kontext haben meist bestimmte Charakteristiken. Sie geben Ziele und Regeln vor, reagieren mit Feedback, geben Anstoß zu Konflikten oder Interaktionen und inkludieren Geschichten oder Repräsentationen. Letzterer Punkt bedeutet, dass Spiele „über etwas“ handeln, sie bilden also Themen oder Geschichten ab, die auch abstrakt oder fantasievoll sein können. Prensky (2001) meint mit diesem Begriff, dass komplexe Darstellungen mit dem Ziel neuer Herausforderungen Teil von Spielen sind. Im schulischen Kontext wird jedoch empfohlen, die Repräsentation praktisch und an der realen Welt orientiert zu gestalten, es sei denn, das bearbeitete Thema erfordert Anderwärtiges (vgl. Prensky 2001, S. 112f;118f, 125).

3.6 Game-based Learning

Game-based Learning, kurz GBL, beschreibt eine Lernsituationen, in denen die Lernenden Lernprozesse durch Spiele erfahren. Dabei werden jene Spiele gezielt eingesetzt, um einen Lernprozess zu erleben - mit dem Ziel, sich das Gelernte zu merken und in weiteren Situationen anzuwenden. Baek und Touati (2017) definieren GBL als:

„Game-based learning (GBL) broadly emphasizes the use of computer games to support teaching and learning. Specifically, it is a type of gameplay with defined learning outcomes [...]. However, GBL may also involve integrating Commercial Off the Shelf (COTS) games into the classroom“ (Baek, Touati 2017, S. 3).

Somit werden nicht nur digitale Spiele in die Definition miteingegliedert, sondern auch klassische, analoge Spiele (vgl. Baek, Tourati 2017, S. 4f). Kerres (2018) ergänzt, dass Game-based Learning eine fremde und unbekannte Welt schafft, in der Aufgaben gelöst werden sollen und Punkte gesammelt werden können. Es sollen Möglichkeiten geschaffen werden, um Spielen und Lernen zu kombinieren und damit eine spielerische und inhaltlich an die Schule gekoppelte Lernsituation entstehen zu lassen. Dabei kann es allerdings auch zu Problemen kommen, wie auch Kerres (2002, S. 404) anführt: *„Game Based Learning koppelt das Lernen mit einer kompletten Spielhandlung – ein aufwendiger Ansatz, der nicht immer gelingt“*. Im Rahmen des Designs einer Game-based Learning-

Umgebung können nach Kerres (2018, S.403) drei Möglichkeiten der Gestaltung unterschieden werden:

- a) Die Spielwelt nähert sich der Lernsituation an
- b) Lernaufgaben werden in die Spielwelt eingebettet
- c) Spielerische Elemente

Der erste Punkt bezieht sich auf den Sachverhalt, dass es zu einer Annäherung zwischen der gestalteten Spielwelt und dem Lernstoff kommen muss, um einen Lernerfolg zu erzielen. Dabei wird aus der Spielsituation eine *„Trainingsumgebung, die so angelegt ist, dass Wissensbestände und Fertigkeiten gezielt erworben werden“* (Kerres 2018, S. 403). Die Einbettung der Lernaufgaben in die Spielwelt soll dafür sorgen, dass die spielerischen Elemente trotz des gewünschten Lernziels erhalten bleiben sollen. Die Spieler*innen arbeiten in dieser Spielsituation Missionen oder Aufgaben ab, die inhaltlich in Zusammenhang mit dem zu erwerbenden Wissen stehen. Somit ist das Wissen bzw. das Lernen für den Spielfortschritt unabdingbar. Die sogenannten spielerischen Elemente fasst Kerres (2022) unter dem Begriff „Gamification“ zusammen, auf den in weiterer Folge noch genauer eingegangen wird. Ein Grund, warum Game-based Learning nach Kerres (2022) oft nicht jene gewünschten Ergebnisse erzielt, ist, dass die Spiele von den Schüler*innen nicht als motivationale Unterhaltung gesehen werden und dass der Lerneffekt geringer ist, als erwartet. Um im Spiel einen Flow zu erzielen, der Lernen ermöglicht, sollen die Lernenden eintauchen. Dieses Eintauchen kann durch die mehr oder weniger versteckten Aufgaben im Spiel gestört werden, wodurch einerseits die zu bearbeitende Aufgabe nicht korrekt oder nicht vollständig erledigt wird oder andererseits die Motivation am Spiel verloren geht (vgl. Kerres 2018, S. 404-407). Grundsätzliche Konzepte des GBL-Ansatzes liefern Baek und Touati (2017, S. 3). Wie man erkennen kann, gibt es Überschneidungen zwischen den Konzepten bzw. Charakteristiken von Game-based Learning und Spielen allgemein. Sie umfassen ein Regelwerk, Ziele, unterschiedliche Schwierigkeitsniveaus oder -levels, konstruktives und sofortiges Feedback, Belohnungen, Hilfestellungen sowie eine zeitliche Begrenzung. Baek und Touati (2017) fassen diese Kategorien mit dem Begriff *„External Mechanics“* (Baek, Touati, 2017, S. 6) zusammen. Interne Spielmechanismen können in GBL ebenso integriert werden. Fantasiekomponenten, soziale und selbststeuerbare Elemente sowie der Faktor der Unberechenbarkeit und der Möglichkeit der Entdeckung der Spielwelt werden zu den

„*Internal Mechanics*“ (Baek, Touati 2017, S. 7) gezählt. Diese Kriterien gelten ebenso für das digitale Game-Based Learning (vgl. Baek, Touati 2017, S. 4-7). Eine weitere Definition zum GBL-Begriff ergreifen Axel Jacob und Frank Teuteberg (2017), die den Wissensgewinn bei Game-based Learning in den Vordergrund stellen und weitere Faktoren, wie die Zielgruppe, den Lernkontext oder die Art des Wissens, gezielt offenlassen. Das bedeutet, dass eine Vielzahl an Methoden und Spielarten in unterschiedliche Kontexte eingebaut werden können. Durch diese Definition bleibt offen, ob ein digitales oder ein haptisches, nicht digitales Spiel zu Lernzwecken verwendet werden soll. Somit ist es ebenso notwendig, eine zusätzliche Definition zum Digital Game-based Learning aufzustellen (vgl. Jacob, Teuteberg 2017, S. 98f).

Der Begriff „Digital Game-Based Learning“, 2001 von Prensky zum ersten Mal verwendet und konkret beschrieben, umfasst grundlegend die Verbindung von digitalen Spielen und einem schulisch-bildenden Kontext oder „*any marriage of educational content and computer games*“ (Prensky 2001, S. 145). Digital Game-based Learning soll sich laut Prensky (2001) durchgehend wie ein Videospiel anfühlen, obwohl es in einer Lernsituation eingesetzt wird. Dadurch sollen nicht nur die Motivation und der Einsatz gesteigert werden, sondern auch die Vielfalt an Lernoptionen in Form von unterschiedlichen interaktiven Spielen zu einer positiven Lernerfahrung führen (vgl. Prensky 2001, S. 145ff). Grundlegend für digitales Lernen durch Spiele ist ebenso, dass sie für den Lernkontext entworfen werden. Weiters macht DGBL aus, dass es, ähnlich wie bei Prenskys Charakteristiken für Spiele im Allgemeinen, Regeln vorgibt und eine strukturgebende Geschichte erzählt (vgl. Breien, Wasson 2021, S. 92f). Wie digitale Spiele im Unterricht bzw. in der Schule eingesetzt werden sollen, hängt einerseits vom gewünschten Lernerfolg bzw. von der Effektivität, aber auch von den eingesetzten Methoden ab. Beim Einsatz von digitalen Spielen muss unbedingt berücksichtigt werden, dass der Faktor „Unterhaltung“ auch vom Lernen ablenken und sich somit negativ auswirken kann. Somit muss eine Art Balance zwischen dem Zuwachs an Lernleistungen und Unterhaltung gefunden werden. In der Forschung zu der Effektivität von DGBL in der Schule, besonders mit dem Fokus auf den Biologieunterricht, zeichnet sich ab, dass diese zwar mehrheitlich positiv ausfällt, jedoch fehlt nach wie vor ein einheitliches Messinstrument, um die Effektivität von DGBL empirisch evaluieren zu können. Im

Rahmen des Fremdsprachenunterrichts konnte jedoch bereits gezeigt werden, dass sie positive Auswirkungen auf den Lernzuwachs haben. Bei einzelnen biologischen Themen, wie z.B. der Genetik, wurden ebenso positive Befunde festgestellt (vgl. Breuer 2010, S. 24-28). In einer Studie von 2022, durchgeführt von Wang et al., wurde der Lernzuwachs von Schüler*innen der Primär- und Sekundärstufen sowie aus dem tertiären Bildungsbereich mithilfe von DGBL im Themenbereich MINT überprüft. Dabei kommt es zuerst zu einer Meta-Analyse von 33 Studien, die insgesamt 3894 Teilnehmer*innen zählen. Hier kann gezeigt werden, dass digitale Game-based Learning Methoden zu einem positiven Lerneffekt, also einer signifikanten Verbesserung, führen können: *„The results show that digital game-based instruction is more effective than other instruction strategies, indicating that intervention of digital games seems to improve student learning“* (Wang et al. 2022, S. 7).

Für den Bereich der Naturwissenschaften ist der Lernzuwachs am höchsten, auch das Alter der Lernenden spielt eine Rolle. Der Lernzuwachs ist bei Schüler*innen der Primarstufe am höchsten, gefolgt von der Sekundarstufe. Ähnlich wie bereits durch Kerres beschrieben, zeigt sich aber auch, dass die Motivation am Lernen durch verschiedene Faktoren verloren gehen kann. In dieser Studie ist ein ausschlaggebender Faktor für die Abnahme an Motivation und Freude am Lernen die Dauer der Intervention (= des Spiels). Werden GBL-Methoden eine Woche oder kürzer eingesetzt, sind sie am effektivsten: *„Learners are often excited about the use of digital games in short-term interventions, which leads to a high degree of curriculum activity participation“* (Wang et al. 2022, S. 10). Wird GBL jedoch länger als eine Woche eingesetzt, kann der Neuheitseffekt abnehmen, die Motivation sinkt und Langeweile tritt ein (vgl. Wang et al. 2022, S. 7-10).

3.7 Gamification

Gamification bezeichnet den gezielten Einsatz von Spielelementen, die etwa aus Computer- oder Videospielen bekannt sind, in spielfremden Kontexten. Besonders im Bildungsbereich können die charakteristischen Elemente wie Fortschrittsanzeigen, Levels, das Sammeln von Punkten oder Ranglisten gefunden werden. Sie sollen vor allem dabei helfen, die intrinsische Motivation der Schüler*innen sowie das Engagement der Lerner*innen zu fördern (Jacob, Teuteberg 2017, S. 102f). Korn et al. (2022) ergänzen in

ihrer Definition, dass Gamification-Elemente im alltäglichen Leben, wie etwa Fitnesstracker oder Smartphone-Apps von Supermarktketten, oft anzutreffen sind. Gamification ist eng mit der Motivationsforschung verbunden. (vgl. Korn et al. 2017, S. 44f). Auf den schulisch-pädagogischen Kontext bezogen zeigt Gamification, dass Spielelemente auch ohne Spiele eingesetzt werden können (z.B. in Form von Bestenlisten) und sich vor allem in kurzen Lernsequenzen einsetzen lassen. Grundlegend für Gamification ist ebenso „Lernfortschritte und -leistungen des Einzelnen (auch Anderen gegenüber) sichtbar zu machen und zu honorieren“ (Kerres 2018, S. 398). Mithilfe dieser Anreize sollen die Lerner*innen ebenso mehr Motivation am Lerngegenstand entwickeln. Dies kann jedoch zu Problemen führen:

„Es ist zu bedenken, dass die Aufmerksamkeit der Lernenden möglicherweise auf periphere Aspekte der Anwendung gelenkt wird, wie z.B. das Sammeln von Punkten, und die Lerninhalte nicht mehr intensiv genug verarbeitet werden“ (Kerres 2018, S. 398).

Es sollte jedoch beachtet werden, dass je nachdem wie die Leistungen der Lernenden gewertet werden, diese gefördert oder auch behindert werden können. Kerres (2018) unterscheidet hierbei zwischen der sozialen Bezugsnorm (Vergleich mit den Leistungen Anderer), der individuellen Bezugsnorm (Vergleich mit den eigenen, vorherigen Leistungen) und der sachlichen Bezugsnorm (Vergleich mit sachlichen Kriterien, z.B. Richtigkeit der Aufgabe). Obwohl die soziale Bezugsnorm, etwa in Form von Bestenlisten, den Reiz schafft, sich zu verbessern, sollte hier Vorsicht geboten werden. Leistungsschwächere Schüler*innen können bei dieser Bezugsnorm demotiviert werden und leistungsstarke Schüler*innen verlieren den Anreiz, sich zu verbessern. Somit empfiehlt Kerres (2018) je nach Kontext die korrekte Bezugsnorm zu wählen (vgl. Kerres 2018, S. 398f). Aufgrund der engen Koppelung von Gamification und Motivationsforschung, sollte an dieser Stelle die Selbstbestimmungstheorie nach Deci und Ryan kurz besprochen werden (vgl. Korn et al. 2017, S. 44f). Intrinsische Motivation orientiert sich am Interesse des Gelernten und soll die Lernenden zu selbstbestimmtem Verhalten führen. Sie ist somit eng mit den drei psychologischen Grundbedürfnissen von Autonomie, Kompetenzerlebnis und sozialer Eingebundenheit nach Deci und Ryan (1993) verbunden. Werden diese drei Grundbedürfnisse erfüllt, sollen Tätigkeiten nach eigenem Interesse ausgeführt werden und zu einer erhöhten Leistungsbereitschaft, höherer Ausdauer und mehr Motivation führen. Erleben Menschen ihre Handlungen als

selbstbestimmt, meistern sie Herausforderungen mithilfe ihres eigenen Könnens und sind sie dabei sozial integriert, sorgt dies dafür, dass intrinsische Motivation entsteht. Extrinsische Motivation hingegen orientiert sich meist an äußeren Anreizen. Es kann jedoch auch sein, dass extrinsische Motivation durch innere, also internalisierte, Verhaltensweisen ausgelöst wird (vgl. Deci, Ryan 1993, S. 229ff). Um den Begriff Gamification von verwandten Begriffen wie Serious games oder Game-based Learning abzugrenzen, verwenden Deterding et al. (2011) die Definition „the use of design elements characteristic for games in non-game contexts“ (Deterding et al. 2011, S. 13). Diese Definition ist absichtlich sehr weit gehalten, um unterschiedliche Kontexte, Einsatzmöglichkeiten oder Modi im Gameplay miteinzubeziehen (vgl. Deterding et al. 2011, S. 13f). Im Gegensatz zu Gamification binden Serious Games und Game-based Learning Spiele mit klaren (Lern)Absichten in den Kontext ein. Gamification versucht, Lernprozesse mit einer spielerischen Komponente zu ergänzen:

„Thus gamification is not a product in the way a (serious) game is; gamification in the context of learning is a design process of adding game elements in order to change existing learning processes“ (Sailer, Homner 2020, S. 78)

Daraus ergeben sich auch die typischen Merkmale von Gamification. Neben den zuvor genannten spielerischen Elementen wie Punkten, Abzeichen oder Bestenlisten, sind kontinuierliche Rückmeldungen ausschlaggebend in der Gamification-Methode. Dabei kommt regelmäßiges Feedback in Echtzeit an die Lernenden, was bewirken soll, ihren Lernzuwachs zu verstärken. Ebenso werden Faktoren eingebaut, die die Motivation, sowohl die intrinsische als auch die extrinsische, positiv beeinflussen sollen. Dazu zählen mitunter Herausforderungen und Ziele, die dabei helfen sollen, sich näher mit den Lerninhalten auseinanderzusetzen (vgl. Sailer, Homner 2020, S. 78-81). Korn et al. (2017) definieren neben den bereits besprochenen Punkten, Abzeichen, Levels oder Bestenlisten noch weitere Merkmale. Extraleben können in Spielelemente durch erzielte Leistungen eingebaut werden. Wie dies in einem Lernkontext aussehen könnte, wird wie folgt geschildert:

„Geeignete Anwendungen sind beispielsweise gamifizierte Lernumgebungen, da es bei vielen Inhalten nicht notwendig ist, absolute Perfektion zu erzielen, sondern kleine Fehler toleriert werden können oder sogar erwartet werden“ (Korn et al. 2017, S. 52).

Um somit Frustration auf eine positive und längerfristig nützliche Art entgegenzutreten, bieten sich solche Extraleben an. Verbindungen zum realen Leben und das Einbinden von Mitspielenden sind ebenso Elemente der Gamifizierung. Es bleibt den Lehrpersonen überlassen, ob durch Mitspielende Kooperation gefördert werden soll oder Konkurrenz für Wettbewerbe kreiert werden soll (vgl. Korn et al. 2017, S. 54). In Hinblick auf den naturwissenschaftlichen Unterricht gibt es gemischte Ergebnisse, was den Lernzuwachs und die Motivation betrifft:

„Previously literature reviews on the use of gamification in education have tried to investigate its potential in learning results. The findings, though positive, are considered of medium effect and not conclusive“ (Kalogiannakis et al. 2021, S. 2).

Da gamifizierte Lernumgebungen es den Schüler*innen ermöglicht, wissenschaftliches Arbeiten, wie etwa das Experimentieren oder Hypothesenaufstellen, kennenzulernen bietet es sich an, sie im Unterricht einzubauen. Hinsichtlich der Auswirkung von Gamification auf die Motivation der Schüler*innen konnten Kalogiannakis et al. (2021) in ihrer Literatur- und Studienanalyse erheben, dass Naturwissenschaften, welche oft mit negativen Emotionen verbunden sind, mithilfe von Gamifizierung besser greifbar gemacht werden können. Ebenso können Herausforderungen durch die Integration von Spiel, sozialer Eingebundenheit und Interaktivität besser bewältigt werden (vgl. Kalogiannakis et al. 2021, S.5). Eine Metaanalyse von Sailer und Homner (2020) zeigt, dass Gamification signifikante, wenn auch moderate, positive Effekte auf die Motivation und die kognitiven Lernziele hat. Daraus kann geschlossen werden, dass Motivation und Lernerfolg durchaus von Gamification positiv beeinflusst werden können. Die Stärke davon hängt jedoch von weiteren Faktoren ab. Sailer und Homner (2020) beziehen sich an diesem Punkt ebenso auf die drei psychologischen Grundbedürfnisse nach Deci und Ryan. Werden diese drei Faktoren in die gamifizierten Lernumgebungen eingebunden, so ist die Motivation der Lernenden erhöht (vgl. Sailer, Homner 2020, S. 77f). Auch die Literaturanalyse von Hamari et al. (2014) von empirischen Studien zeigt, dass sich Gamification positiv auf die Motivation auswirkt. Was den kognitiven Lernzuwachs bzw. Lernerfolg betrifft, sind die Ergebnisse eher heterogen. Es wird darauf hingewiesen, dass die positiven Effekte von Gamification auf die Lernenden durch einen sogenannten „Novelty Effekt“ hervorgerufen werden können. Auch hier wird betont, dass die langfristige Wirkung von Gamification noch unklar ist (vgl. Hamari et al. 2014, S. 3027f).

Ebenso merken Ruiz et al. (2024) an, dass es in Bezug auf den Einsatz von Gamification nach wie vor eine Diskrepanz zwischen dem theoretischen Verständnis und der tatsächlichen Verwendung der Methode im Unterricht gibt (vgl. Ruiz et al. 2024, S. 2). Für den naturwissenschaftlichen Unterricht stellt etwa die Fachzeitschrift „Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht“ Möglichkeiten vor, wie Gamification in der Sekundarstufe eingesetzt werden kann. Je nachdem, wie Pflanzen-Bestimmungssapps eingesetzt werden, kann entweder ein Gamification- oder ein Game-based Learning Ansatz verfolgt werden. Ein anderes Beispiel für die Verbindung von Blütenpflanzen und Bienen bzw. Bestäubungsbiologie für Gamification, ist die App *beeactive* (vgl. Ricker 2022, S.6). Hierbei ist das Ziel Wissen über Blütenpflanzen und Wild- und Honigbienen zu vermitteln. Mithilfe der Imker-Avatarin werden Fragen gestellt und zielgruppenorientiertes Wissen übermittelt. Die App bindet neben den Gamificationelementen (Avatar, Bestenliste, Abzeichen) auch Augmented Reality ein. Die Spieler*innen sammeln mit Fotos von Blütenpflanzen Pollen und Nektar. Die fotografierten Pflanzen werden mithilfe der Datenbank der Bestimmungssapp Flora Incognita, die jedoch nicht am Smartphone installiert sein muss, bestimmt. Dabei werden der wissenschaftliche und der deutsche Name sowie der Blühzeitraum angegeben. Wollen die Nutzer*innen noch weitere Informationen zu den fotografierten Pflanzen haben, können diese über Wikipedia abgerufen werden. Es werden also die Aufgaben, Pollen für die Gesundheit des virtuellen Bienenvolks und Nektar von nektarspendenden Pflanzen zu sammeln, kombiniert. Je mehr Pflanzen fotografiert und in der App registriert werden, desto gesünder ist das Bienenvolk (vgl. Schimpf 2022, S. 8). Die App kann somit auch im Biologieunterricht eingesetzt werden, um etwa zu überprüfen, ob der Schulhof oder Schulgarten genügend Nahrung für das Bienenvolk bietet (vgl. Ricker 2022, S.9).

4 Blütenbiologie

Die Beschreibung der Struktur und Funktion der einzelnen Blütenblätter der Angiospermen ist ein zentrales Thema der Botanik. Die umgewandelten Blattorgane, welche sich auf einem gestauchten Spross befinden, ermöglichen effiziente Fortpflanzung (vgl. Stützel 2021, S. 37). Auf diesem gestauchten Sprossende sind ebenso die Internodien stark gestauch, sodass sie nur durch die unterschiedlichen Blattorgane, also die unterschiedlichen Blütenblätter, erkennbar sind (vgl. Hess 2005, S. 83). Meist sind Blüten zwittrig, d.h. sie besitzen sowohl Frucht- als auch Staubblätter. Wenn hingegen nur Staub- bzw. nur Fruchtblätter auf einer Blüte sind, spricht man von eingeschlechtlichen oder unisexuellen Blüten. Es ist allerdings auch möglich, dass auf Pflanzen beide Arten der unisexuellen Blüten wachsen. Somit sind jene Pflanzen einhäusig (monözisch). Trägt eine Pflanze lediglich Blüten mit Staubblättern und eine weitere nur Fruchtblätter, lautet die korrekte Bezeichnung „zweihäusig“ (diözisch), da die Geschlechter auf zwei unterschiedliche Pflanzen (=Häuser) verteilt sind (vgl. Hess 2005, S. 86f). Als reproduktive Einheit der Angiospermen setzt sich die Blüte aus Kelchblättern (Sepalen), Kronblättern (Petalen), Staubblättern (Stamina) sowie Fruchtblättern (Karpellen) zusammen. Die einzelnen Blätter nehmen in der Fortpflanzung unterschiedliche Rollen ein, jedoch ist es auch möglich, dass Teile der Blütenblätter, etwa die Kronblätter, fehlen. Ein Austausch in der zuvor genannten Reihenfolge ist nicht möglich (vgl. Stützel 2021, S. 37). In der gängigen botanischen Fachliteratur werden die beiden untersten Knoten, die die Sepalen und Petalen tragen - oft als Blütenhülle (Perianth), aufgrund ihrer ähnlichen Funktion als Schutz- und Lockorgane zusammengefasst (vgl. Hess 2005, S. 85). Im Rahmen dieses Kapitels werden die beiden Blattorgane auch gemeinsam beschrieben.

4.1 Perianth

Man spricht von einem einfachen Perianth oder Perigon, wenn alle Blätter der beiden Knoten weitestgehend gleich aussehen. Die einzelnen Blätter des Perigons werden Tepalen genannt. Ein Perigon ist unter anderem bei *Helleborus*, *Pulsatilla*, *Anemone*, Orchidaceae oder Amaryllidaceae zu finden. Die Perigonblätter können in ihrer Farbe und Form verschieden aussehen, wie bei *Iris*: Während die äußeren Tepalen eine größere Form haben, leicht hängend sind und über Farbmale und Bartstreifen verfügen, sind die inneren Tepalen meist aufrechtstehend und kleiner. Die Perigonblätter können untereinander verwachsen sein oder freistehen, wie es bei Blüten der Amaryllidaceae zu beobachten ist. (vgl. Hess 2005, S. 85, 120, 122). Handelt es sich hingegen bei den beiden äußeren Blütenhüllblättern um ungleichartige, wird dies als doppeltes Perianth mit meist grünen Sepalen als Kelch (Calyx) und Petalen als Krone (Corolla) bezeichnet. Die Kelchblätter können genauso wie die Kronblätter untereinander oder miteinander verwachsen sein. (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 153). So sind etwa die Sepalen der Alsinoideae freistehend, während sie bei den Silenoideae verwachsen sind. Das führt auch dazu, dass durch die verschiedene Blütenform unterschiedliche Bestäuber angelockt werden (vgl. Hess 2005, S.143f). Kelchblätter nehmen vor allem im Knospenstadium eine Schutzfunktion ein. Darüber hinaus dienen sie, wenn es sich um vergrößerte Sepalen handelt, vereinzelt zur Fruchtausbreitung. Die Kronblätter hingegen sind meist zarter als die derben Kelchblätter und haben häufig eine andere Farbe als grün. Dies ist auf ihre Schau- und Lockfunktion im Blühstadium zurückzuführen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 153). Durch unterschiedliche Farben der Kronblätter können Bestäuber angelockt werden: „Einige Tagfalter können das „knallige“ Rot mancher Nelken wie *Dianthus carthusianorum* (Karthäuser-Nelke) als solches erkennen“ (Hess 2005, S. 144f). Im Gegensatz dazu werden andere Schmetterlinge durch weißblütige Nelken angelockt (vgl. Hess 2005, S. 145).

Neben der Schutzfunktion der in den inneren Knoten liegenden Staub- und Fruchtblätter bieten die Kronblätter bzw. die Blütenhülle allgemein Möglichkeiten zur Ausbildung von Landeplätzen für diverse Bestäuber oder die Speicherung von Nektar (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 153). Besonders sind die Lippenblütler (Lamiaceae) oder die Orchideengewächse (Orchidaceae) hervorzuheben. Bei Ersteren sind die fünf Kelchblätter und die fünf Kronblätter verwachsen und bilden so eine Landemöglichkeit aus, wie bei Blüten der Gattung *Salvia* zu beobachten ist (vgl. Hess 2005, S. 124, 180,181).

Sind Blüten sekundär windblütig, kann es zu einer Reduktion der Kronblätter bzw. des Perianths kommen, z.B. bei den Poaceae oder Cyperaceae (vgl. Hess 2005, S. 132).

4.1.1 Floralsymmetrie

In Zusammenhang mit der Blütenbestimmung und der Beschreibung der Morphologie geht auch die Blütensymmetrie einher. Grundsätzlich handelt es sich hier um eine Gesetzmäßigkeit, mit der die Anordnung der Blütenblätter beschrieben werden kann (vgl. Sützel 2021, S. 87). Die Blütensymmetrie wird anhand der Stellung des Perianths bestimmt, es können jedoch auch nur die Kronblätter herangezogen werden (vgl. Dörken 2012, S. 14). Es wird zwischen radiärsymmetrischen, disymmetrischen und zygomorphen Symmetrieverhältnissen unterschieden (vgl. Hess 2005, S. 87). Dörken führt jedoch noch die sogenannten drehsymmetrischen Blüten an. Zygomorphe oder monosymmetrische Blüten haben einen Drehwinkel von 360° , was bedeutet, dass nur eine Symmetrieebene vorhanden ist. Blüten wie *Viola* können demnach nur auf eine Seite gespiegelt werden (vgl. Dörken 2012, S. 14). Radiärsymmetrische Blüten, auch aktinomorph oder strahlig bezeichnet, besitzen mehr als zwei Symmetrieebenen. Das bedeutet konkret, dass durch den Mittelpunkt der Blüte mehrere Symmetrieebenen gelegt werden können (vgl. Hess 2005, S. 87). Der Drehwinkel ist bei radiären Blüten von der Anzahl der Kronblätter abhängig (vgl. Dörken 2012, S. 15). Radiärsymmetrische Blüten sind unter anderem die Amaryllidaceae, manche Ranunculaceae, die Caryophyllaceae, die Rosaceae oder die Fagaceae (vgl. Hess 2005, S. 87, 122, 136, 143, 156, 160). Disymmetrische Blüten sind ausschließlich bei vierzähligen Blüten, wie den Brassicaceae, vorhanden und es liegen zwei Symmetrieebenen vor. Einen Sonderfall nehmen die drehsymmetrischen Blüten ein, bei denen es keine Symmetrieebenen aufgrund der „in sich gedrehten/asymmetrischen Kronblätter“ (Dörken 2012, S. 15) gibt. Als Beispiel kann etwa das Immergrün (*Vinca*) angeführt werden (vgl. Dörken 2012, S. 15).

4.2 Staubblätter

Im nächsten Wirtel folgen auf das Perianth die Staubblätter, in der Fachliteratur auch unter Mikrosporophylle oder Stamina bekannt. Werden alle Staubblätter zusammengefasst, so lautet die Bezeichnung „Androeceum“. Sie werden in die stielförmigen Staubfäden (Filamente) und die Staubbeutel (Antheren) gegliedert. Die meist terminalen Antheren werden noch in zwei Theken, die mit einem Konnektiv verbunden werden, untergliedert. In den Theken befinden sich jeweils zwei verwachsene Pollensäcke, in denen die zwei Wandschichten Endothecium und Tapetum sind (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 153f). Pro Anthere sind demnach vier Pollensäcke zu finden. In deren Innerem die sogenannten Pollen-Mutterzellen zu finden sind, die sich im Laufe der Meiose von haploiden Pollenzellen zu befruchtungsfähigen, männlichen Pollenkörnern entwickeln, auf welche in weiterer Folge noch näher eingegangen wird (vgl. Hess 2005, S. 85). Der Alternanzregel folgend stehen die Staubblätter meist auf Lücke, wobei Staubblattkreise oder vereinzelte Staubblätter aufgrund von Verkümmierungen fehlen können. Es kann aber auch möglich sein, dass anstelle von einzelnen Staubblättern Stamenbündel zu sehen sind (vgl. Stützel 2021, S. 38). Diese Staubblattvermehrung ist auch als sekundäre Polyandrie oder Dédoublement bekannt, bei der einzelne Staubblattanlagen zu mehreren werden. Bei diesem Vorgang ist es auch möglich, dass Staubblätter entstehen. Als weitere Veränderungen der Staubblätter können Verwachsungen untereinander oder mit anderen Wirteln, z.B. Kronblättern, oder auch Sterilität genannt werden. Bei Letzterem können Staubblätter als Staminoiden wachsen und etwa als Nektarblätter oder als petalähnliche Blätter mit Anlockungsfunktion auftreten (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 154). Eine Sonderbildung, die besonders in Hinsicht auf den Bestäubungsmechanismus bedeutsam ist, ist beim Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*) zu finden. Hier handelt es sich um einen sogenannten Schlagbaum-Mechanismus, auf welchen konkreter im Kapitel zur Bestäubung eingegangen wird, der durch eine Veränderung der Staubblätter auftritt. Anstelle der für die Lamiaceae üblichen vier Staubblätter sind bei manchen *Salvia*-Arten nur mehr zwei Staubblätter, deren Filamente mit den Kronblättern am Boden verwachsen sind, danach freistehend und gebogen, vorhanden. Das Verbindungsstück zwischen den Filamenten und den Konnektiven funktioniert als Gelenk. Eine extreme morphologische Veränderung kann an den Konnektiven erkannt werden, die im unteren Teil zu einer Platte und im oberen Teil zu einem langen Arm umgewandelt wurden. Am oberen Ende der Konnektive sitzen die

Theken in der Oberlippe der Blüte (vgl. Hess 2005, S. 182). Neben Orchidaceae oder Poaceae kommt es auch bei manchen Ranunculaceae zu Abänderungen der Staubblätter. In dieser Gattung sind häufig Nektarblätter zu finden, die in weiterer Folge kronblattartig werden. Diese werden Blütenhüllblätter genannt und können etwa bei *Ranunculus*, *Aquilegia*, *Helleborus* oder *Aconitum* gefunden werden (vgl. Hess 2005, S. 137). Wie anhand der Nektarblätter gesehen werden kann, liegt die Funktion der Staubblätter demnach nicht ausschließlich auf der Pollenbildung, wobei dies nach wie vor die Hauptfunktion ist, sondern auch in der sekundären Pollenpräsentation und der Anlockung der Bestäuber (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 155):

„Sie tragen zur optischen Attraktivität der Blüten bei oder sind sogar als einzige Organe hierfür verantwortlich, produzieren Düfte und unterstützen damit die olfaktorische Anlockung von Bestäubern, bilden Nektar oder beeinflussen durch ihre räumliche Anordnung die Bewegungsmöglichkeiten von Bestäubern [...]“ (Kadereit et al. 2014, S. 155).

4.2.1 Pollen

Pollenkörner bzw. Pollen sind die haploiden Zellen, die die männlichen Gametophyten enthalten und im Rahmen der Befruchtung eine zentrale Rolle einnehmen. Die Außenseite der Pollenkörner wird als Sporoderm bezeichnet und schützt den Inhalt der Pollenkörner vor der Umwelt. Sie setzt sich aus zwei Schichten, der Exine und der inneren Intine, zusammen. Die äußere Exine besteht aus sogenannten Sporopolleninen, die für Pollenanalysen bzw. Artbestimmungen herangezogen werden. Für die Pollenanalysen ebenso relevant sind die Keimöffnungen, die sich in ihrer Lage, Anzahl und Form je nach Art unterscheiden können (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 155). Handelt es sich um schlitzförmige Öffnungen werden diese als „colpat“ bezeichnet, sind sie kreisförmig, porat. Sulcate Öffnungen sind jene, die sich an den Polen der Pollen befinden. Zudem gibt es Mischformen, die als colporat bezeichnet werden (vgl. Hess 2005, S. 90). Im Rahmen der Pollenentwicklung entwickelt sich das klebrige Pollenkitt, das bei tierbestäubenden Arten an der Oberfläche der Pollenkörner freigesetzt wird. Dadurch haften mehrere Pollen zusammen und kleben an den Bestäubern (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 155f). Gebildet werden die Pollenkörner während der Mikrosporogenese durch die Meiose der Mikrosporen im Archespor. Die Bildung der Pollenzellen kann entweder simultan oder sukzessiv erfolgen. Bei Ersterem finden zuerst beide Kernteilungen statt und im

Anschluss werden die Wände gleichzeitig gebildet. Im Falle der sukzessiven Zellbildung werden die Zellwände nacheinander, also nach jeder meiotischen Teilung, angelegt (vgl. Hess 2005, S. 90f). Die männlichen Gametophyten setzen sich aus einer vegetativen Pollenschlauchzelle und einer generativen Zelle zusammen. Der Pollenschlauch hat im Vorgang der Befruchtung die Funktion, die männlichen Keimzellen zu einer Eizelle zu bewegen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 157).

4.3 Fruchtblätter

Auf den Staubblattkreis folgend stehen die Fruchtblätter, Megasporophyllen oder Karpelle. Alle Fruchtblätter einer Blüte zusammen werden als Gynoeceum bezeichnet. Sie bestehen aus den einzelnen Fruchtblättern, die Fruchtknoten bilden können. Je nachdem, ob die Fruchtblätter untereinander frei oder verwachsen sind, unterscheidet sich die Anzahl der Fruchtknoten. Wenn es sich um chorikarpe Fruchtknoten handelt, wird pro Fruchtblatt jeweils ein Stempel gebildet. Es handelt sich also um Chorikarpie. Die zweite Möglichkeit ist die sogenannte Synkarpie oder Coenokarpie. Hierbei werden verwachsenblättrige Fruchtknoten von mehreren Fruchtblättern gebildet und es entsteht ein Fruchtknoten. Dem Fruchtknoten aufsetzend, befinden sich der Griffel (Stylum) und die Narbe (Stigma), die auch klebrig sein kann, um den Pollen besser anzuhaften. Werden Griffel, Narbe und Fruchtknoten zusammengefasst, spricht man von dem Stempel (Pistillum) (vgl. Hess 2005, S. 86). Der Fruchtknoten selbst kann durch sogenannte Scheidewände oder Septen geteilt sein. Im Griffel befindet sich ein Transmissionskanal, durch den die Pollenschläuche die männlichen Keimzellen transportieren. Die Samenanlagen der Blüte befinden sich im hohlen Ovar. Dieser basale Teil des Fruchtblattes kann, je nach Pflanzenart und Anzahl der Fruchtblätter, ein- oder mehrkammrig sein und im Inneren entwickeln sich die Placenten. Die Placentation kann zentralwinkelständig, parietal, also wandständig, marginal, d.h. randständig, oder sogar laminal sein. Laminale Samenanlagen sind auf der gesamten inneren Fläche der Fruchtknoten ausgebildet. Blickt man genauer auf die Samenanlagen, so erkennt man, dass sie aus einem Stiel (Funiculus), einer oder zwei Hüllschichten (Integumenten) und einem Nucellus bestehen. Am Übergang von Funiculus und Nucellus entsteht durch die Hüllschichten eine Öffnung, die als Mikropyle bezeichnet wird (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 159f).

Für die Artbestimmung von Blüten ist die Stellung des Fruchtknotens entscheidend. Befindet sich das Gynoeceum auf dem Blütenboden, spricht man von einem oberständigen Fruchtknoten, bei dem die Blütenorgane hypogyn, also dem Blütenboden (Receptaculum) aufsitzend, sind. Die weiteren Blütenorgane setzen in diesem Fall am Gynoeceum an. Ein unterständiger Fruchtknoten liegt vor, wenn das Gynoeceum vom Blütenboden vollständig umschlossen wird und die Perianth- und Staubblätter oberhalb des Gynoeceums ansetzen. Deswegen werden Blüten mit einem unterständigen Fruchtknoten auch epigyn genannt. Eine Zwischenstellung nimmt der halbunterständige Fruchtknoten ein. Wenn der Fruchtknoten teilweise in das Receptaculum eingesenkt ist, im Blütenboden jedoch freisteht, spricht man von einem mittelständigen (perigynen) Fruchtknoten (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 162f).

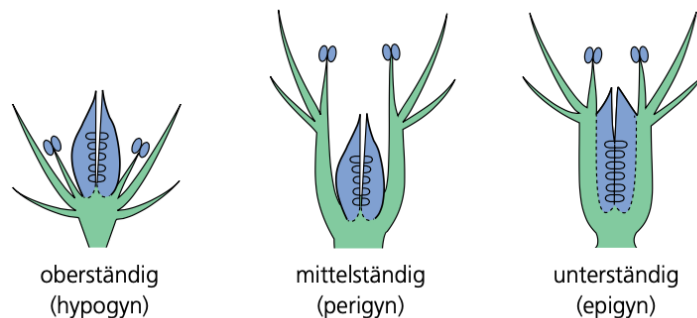


Abbildung 2 Lage der Fruchtknoten nach Kadereit et al. (2014)

Oberständige Fruchtknoten können unter anderem bei Liliaceae, Ranunculaceae, Papaveraceae, Caryophyllaceae, Fabaceae, Brassicaceae oder Solanaceae und weiteren gefunden werden (vgl. Hess 2005, S. 114, 136, 140, 143, 151, 164, 189). Mittelständige Fruchtknoten sind deutlich seltener. Das Gynoeceum von *Prunus* bzw. den Prunoideae wird meist als mittelständig beschrieben. Die intermediäre Form, der halbunterständige Fruchtknoten, tritt etwa bei den Maloideae auf. Beispiele für unterständige Fruchtknoten sind die Fagaceae, die Betulaceae, die Rubiaceae oder die Apiaceae (vgl. Stützel 2021, S. 89ff, 102, 103).

4.4 Nektarien

Unter dem Begriff Nektarien versteht man Drüsenzellen, die Exkrete, in diesem Fall Nektar, abgeben. Diese Nektardrüsen dienen häufig der Tieranlockung. Es gilt in der

Bestäubungsbiologie als Lockmittel, um so eine Bestäubung und eine Befruchtung auszulösen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 94). Man unterscheidet extraflorale und florale Nektarien. Bei Ersteren befinden sich die Nektardrüsen außerhalb der Blüte, nämlich etwa an den vegetativen Organen wie den Blättern. Extraflorale Nektarien stehen nicht ausschließlich im Dienst der Bestäubung. Neben der Lockfunktion, welche beispielsweise bei carnivoren Pflanzen Insekten anlockt, um sie schließlich zu verdauen (vgl. Leins 2000, S. 126), ist der Nektar auch Nahrungsmittel für die mit der Pflanze lebenden Ameisen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 94). Diese sorgen dafür, dass die Pflanze fressende herbivore Tiere vertreiben oder gefressen werden (vgl. Evert, Langenfeld-Heyser 2009, S. 414). Florale Nektarien hingegen befinden sich innerhalb der Blüten und können an unterschiedlichen Orten in der Blüte gebildet werden. So kann etwa am Blütenboden ein Diskus oder die Außenseite bzw. Septen (= Septalnektarien) des Fruchtknotens Nektar anbieten. Staub- sowie Perianthblätter können ebenfalls von morphologischen Veränderungen betroffen sein, die sich zu einer Nektardrüse umwandeln. In Form von Filamentanhängseln, Konnektivfortsätzen oder Staminodien treten die nekarsezierenden Drüsen im Androeceum auf (vgl. Leins 2000, S. 118). Besonders bei den Gattungen der Ranunculales oder der Lamiales treten die zu den Staminodien umgewandelten Staubblätter auf (vgl. Evert, Langenfeld-Heyser 2009, S. 415). Die sogenannten Blütenblattnektarien geben den Nektar oft über die Oberfläche der Blütenblätter in Nektarrinnen, wie zum Beispiel bei *Lilium bulbiferum*, ab oder auch innerhalb der Kronröhre. Teilweise werden auch Kronröhrensporne, *Centranthus*, oder Nektarschuppen ausgebildet (vgl. Leins 2000, S. 118). Je nach Familie bzw. Gattung können sich die Orte der Nektardrüsen unterscheiden, da nicht nur Teile des bestimmten Blütenorgans umgewandelt werden können, sondern auch das gesamte Blütenorgan (vgl. Hess 2019, S. 124). Gebildet werden die Sekretionsdrüsen in der Epidermis oder sogar in tieferen Zellschichten. Das Nektargewebe wird durch das Leitgewebe, das Phloem, versorgt, was dafür sorgt, dass die stark zuckerhaltige Substanz nach außen sezerniert wird (vgl. Evert, Langenfeld-Heyser 2009, S. 416).

4.5 Infloreszenzen

Blüten wachsen in unterschiedlichen Formen. Sie können einzeln an Sprossachsen oder als mehrere Blüten in Form eines Blütenstandes (Infloreszenz) wachsen. Diese Infloreszenzen können aus wenigen Blüten oder einer hohen Anzahl an Einzelblüten bestehen, die aus einer Achsel eines Tragblattes wachsen. Diese Tragblätter können in unterschiedlicher Art wachsen, etwa verkümmert oder als auffällige Blätter mit Schaufunktion. Dörkens Definition für einen Blütenstand lautet wie folgt: „Demzufolge ist ein Blütenstand stets eine abgrenzbare, mehr oder weniger stark verzweigte Zone einer Pflanze, die die Blüten trägt“ (Dörken 2012, S. 15). Innerhalb der Blütenstände wird zwischen einfachen und zusammengesetzten bzw. offenen und geschlossenen Infloreszenzen unterschieden (vgl. Dörken 2012, S. 15f). Beispiele für einfache Blütenstände sind etwa die Ähre (Spica), die Traube (Racemus), der Kolben (Spadix), das Köpfchen (Capitulum) oder die Dolde (Umbella). Bei ihnen ist die Blütenstandsachse unverzweigt, da die Blüten seitlich ansetzen. Die Blüten können, je nach spezifischem Blütentyp, in den Achseln der Tragblätter (Traube), ungestielt (Ähre) oder auf einem verdickten und/oder verkürzten Blütenboden wachsen. Wenn der Blütenstand auf einer langen und gestreckten sowie unverzweigten Blütenstandsachse wächst, handelt es sich um einen sogenannten Kolben, z.B. *Zea mays*. Ist diese Achse außerdem zusätzlich verkürzt, spricht man von einem Köpfchen, etwa bei vielen Asteraceae oder bei *Scabiosa* (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 164). Auf doldigen Blütenständen wachsen die Blüten auf Stielen und aus den Tragblättern wird eine sogenannte Hülle (Involucrum). Verzweigen sich Dolden oder Trauben und tragen somit mehr als einen Blütenstand, spricht man von zusammengesetzten Infloreszenzen und Partialinfloreszenzen. Im Falle der Dolden nennt man dies Doppeldolde. Anstelle der Einzelblüten setzen Döldchen an. Aus der Hülle wird nun ein Hüllchen (Involucellum) (vgl. Dörken 2012, S. 19). Die Rispe (Panicula) wird ebenso zu den zusammengesetzten Blütenständen gezählt, da ihre Seitenachsen racemös verzweigt sind und die Verzweigungen am unteren Teil der Blütenachse höher sind als am oberen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 164). Als racemös werden Blütenstände beschrieben, bei denen die Seitenachsen ein geringeres Wachstum als die Hauptachse haben. Hess beschreibt die Rispe eher als „[sic] zusammengesetzte Traube – also eine Traube, welche Trauben zweiter Ordnung trägt“ (Hess 2005, S. 88). Die Blüten der Rispen wachsen auf langen Stielen. Als Sonderformen der Rispe sind die Spirre (Anthela) und die abgeflachte Schirmrispe (Corymbus) zu nennen. Bei Ersterer wird die Terminalblüte von

den Blüten der Seitenachsen in ihrem Wachstum überholt. Die Blüten der Schirmrispe hingegen wachsen auf einer gewölbten, also schirmartigen, Ebene. Unter die zusammengesetzten Infloreszenzen fallen ebenso die Doppelähre, die Doppelrispe und der Thyrsus (vgl. Dörken 2012, S. 16). Der Thyrsus wird meist als cymös verzweigt beschrieben, das bedeutet, dass „eine Verzweigung aus den Achseln der Vorblätter, die als letzte Blattorgane unterhalb der Blüte gebildet werden und [...] meist in Zweizahl“ (Kadereit et al. 2014, S. 164) wächst. Die Rosskastanie (*Aesculus*) oder der Borretsch (*Borago officinalis*) sind Beispiele für Thyrsen. Es gibt zudem keine Terminalblüte. (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 164f). In Zusammenhang mit den Infloreszenzen und Wuchsformen sollte noch kurz auf den Unterschied zwischen Monochasien, Dichasien und Pleiochasien eingegangen werden. Wächst ein Seitentrieb über die Hauptachse hinaus und treibt so das Wachstum an, spricht man von einem Monochasium (z.B. *Vitis vinifera*). Bei Dichasien blockieren zwei Seitentriebe das Wachstum der Hauptachse und bei Pleiochasien können diese Funktion mehrere, gleichgestellte Seitentriebe übernehmen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 111f).

Die Einteilung der Blütenstände kann, wie zuvor angemerkt, auch geschlossen und offen geschehen. Dabei ist der Hauptspross genauer zu betrachten. Endet das Wachstum des Hauptsprosses mit einer terminalen Blüte, so spricht man von einer geschlossenen Infloreszenz (z.B. Rispe, Ähre, Traube). Liegt keine terminale Blüte vor, so handelt es sich um einen offenen Blütenstand (z.B. Thyrsus, Kolben, Köpfchen) (vgl. Munk 2008, S. 96ff).

4.6 Früchte und Fruchtausbreitung

Als Abschluss des Kapitels zur Blütenmorphologie werden die Fruchtbildung, die unterschiedlichen Arten von Früchten in den Angiospermen und die Fruchtausbildung beschrieben. Zunächst wird kurz auf die Samenbildung eingegangen.

Nach der Befruchtung kommt es zu einer Umwandlung der Samenanlagen des Gynoeceums in Samen. Sie setzen sich aus der Samenschale (Testa), dem Embryo und einem Nährgewebe (Endosperm) zusammen. Der aus der Zygote entstandene Embryo enthält die Wurzelanlage (Radicula), einen Achsenabschnitt (Hypokotyl), die Keimblätter (Kotyledonen), sowie ein Sprossmeristem (Plumula) und den Suspensor (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 171). Da das Nährgewebe sowie die darin enthaltenen Nährstoffe schon vor

der fertigen Reifung des Samens gänzlich genützt werden können, ist es möglich, dass Nährstoffe in sogenannten Speicherkotyledonen angereichert werden, wie etwa bei *Pisum sativum* (vgl. Stützel 2021, S. 57).

Die Früchte der Angiospermen entstehen nach der Befruchtung aus den Fruchtblättern der Blüten. Es können auch weitere Teile der Blüte daran beteiligt sein. Laut Definition spricht man von der Frucht als Blüte während der Samenreife. In der Frucht werden die Samenanlagen eingeschlossen und bleiben dort bis zur Ausbreitung der Samen. Blickt man auf die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Früchte der Angiospermen, so ist die Vielzahl an Fruchtformen nicht überraschend. So wirken sich etwa die Anatomie der Fruchtwand (Perikarp), der Aufbau des Gynoeceums sowie die Öffnungsmechanismen bei der Fruchtreife auf die Form und Struktur der Früchte aus. Die Fruchtwand (Perikarp) bei reifen Früchten setzt sich aus der äußeren Epidermis, dem Mesokarp und dem Endokarp zusammen. Je nach Fruchtart bezeichnen die Schichten der Fruchtwand unterschiedliche Strukturen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 171): „Liegt z.B. bei Steinfrüchten ein mehrzellschichtiger Steinkern vor, wird dieser Teil der Fruchtwand häufig als Endokarp und der fleischige äußere Teil als Exokarp bezeichnet“ (Kadereit et al. 2014, S. 171). Neben dem Schutz der Samen haben die unterschiedlichen Fruchtwände ebenso noch die Funktion, tierische Ausbreiter mittels Lockstoffe anzulocken. Hess unterscheidet in seiner Einteilung der Früchte einerseits Einzelfrüchte und andererseits Sammelfrüchte (vgl. Hess 2005, S. 99f), während Kadereit et al. Öffnungs- und Schließfrüchte voneinander trennen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 171, 173). Munk geht darauf ein, dass es viele Möglichkeiten gibt, wie Früchte eingeteilt werden können. So können sie nach Zahl und Verwachsung der Fruchtblätter, nach dem Zustand des Perikarps oder nach der Art, wie Samen aus der Frucht entlassen werden, eingeteilt werden (vgl. Munk 2008, S. 82). Aufgrund der Vielzahl an Einteilungsmöglichkeiten soll in dieser Arbeit nach Kadereit et al. gegliedert werden.

Der Unterschied zwischen Öffnungs- und Schließfrüchten liegt darin, ob die Samen bei der Reife entlassen werden oder nicht. So werden die Samen der Öffnungsfrüchte während der Fruchtreife verteilt, während jene der Schließfrüchte in der Frucht erhalten bleiben (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 171). Auch Stützel folgt einer ähnlichen Definition von Schließfrüchten und Streufrüchten: „Streufrüchte verbleiben an der Pflanze und öffnen sich, die Samen werden einzeln verbreitet. Schließfrüchte bleiben geschlossen und

werden zusammen mit den eingeschlossenen Samen ausgebreitet“ (Stützel 2021, S. 42). Zu Öffnungsfrüchten werden etwa Balgfrüchte, Hülsen oder Kapselfrüchte gezählt (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 171). Die in der Reife trockenen Balg- und Hülsenfrüchte haben jeweils nur ein Karpell und verfügen über mehrere Samen pro Karpell. Balgfrüchte öffnen sich ausschließlich an der sogenannten Ventralnaht, während Hülsenfrüchte über zwei Öffnungen verfügen - einerseits die Ventralnaht, andererseits die Rückennaht, die sich auf der Mittelrippe des Karpells befindet (vgl. Stützel 2021, S. 42). Entstehen aus einer Blüte mehrere Bälge, wird die Frucht Sammelbalgfrucht genannt, wie etwa bei Ritterspornarten (*Delphinium*) oder bei Pfingstrosen (*Paeonia*). Hülsen wachsen vor allem bei den Fabaceae (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 171).

Kapseln entstehen aus einem coenokarpen Fruchtknoten, der sich aus mehreren Karpellen zusammensetzt. Da zu den ebenso trockenen Kapselfrüchten alle mehrkarpelligen Öffnungsfrüchte gezählt werden, können diese je nach der Lage und Art der Öffnungen noch weiter gegliedert werden. Porenkapseln oder porizide Kapseln öffnen sich durch Löcher oder bei Deckelkapseln entsteht die Öffnung durch die Ablösung des Deckels (vgl. Stützel 2021, S. 43). Zu den Kapseln werden außerdem scheidewandspaltige oder septizide Kapseln und rückenspaltige oder dorsizide Kapseln gezählt. Bei Ersteren erfolgt die Öffnung „an den Grenzen benachbarter Karpelle“ (Kadereit et al. 2014, S. 171, 173), dorsizide Kapseln werden „entlang des Karpellrückens“ (Kadereit et al. 2014, S. 173) geöffnet. Eine weitere Kapselart ist die Schote der Brassicaceae. Hier werden zwei miteinander verwachsene Karpelle gefunden, die sich beim Öffnungsvorgang von einer falschen bzw. unechten Scheidewand ablösen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 173). Da diese Scheidewand allerdings von den Rändern der Fruchtblätter und nicht von den Fruchtblättern selbst gebildet wird, spricht man von einer falschen Scheidewand. Schoten sind in der Familie der Brassicaceae zu finden (vgl. Hess 2005, S. 98).

Die Kategorie der Schließfrüchte umfasst die Nuss, die Sammelnussfrucht, die Achäne, die Karyopse, die Steinfrucht, die Sammelsteinfrucht, Beeren sowie Sammelbeeren und kann sich in der Anatomie der Fruchtwände stark unterscheiden. So ist das Perikarp der Nüsse vollständig verholzt und enthält pro Frucht nur einen Samen (vgl. Stützel 2021, S. 43). Nüsse können sowohl aus einem synkarpen (z.B. *Ulmus*, *Betula*), als auch aus einem chorikarpen (z.B. *Ranunculus*) Gynoeceum entstehen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 173).

Kommt es zu Verwachsungen von Samenschale und Fruchtwand, entstehen Achänen, bei den Asteraceae zu finden, oder Karyopsen, etwa bei den Poaceae (vgl. Hess 2005, S. 98). Sammelnussfrüchte entstehen aus mehreren chorikarpen Karpellen und entstehen unter anderem bei *Ranunculus* oder *Fragaria*. Wenn lediglich das Endokarp verholzt ist und der Rest der Frucht fleischig, so spricht man von Steinfrüchten. In der Regel gibt es nur einen Kern pro Frucht, die sich aus einem Karpell herausbildet, wie es bei *Prunus* oder *Oliva* der Fall ist. Auch bei Steinfrüchten gibt es eine kongregierte Form aus mehreren Karpellen, nämlich die Sammelsteinfrucht (vgl. Stützel 2021, S. 42f). Steinfrüchte können auch in coenokarper Form auftreten (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 173). Sind mehrere Samen pro Karpell in einer Schließfrucht verwachsen, spricht man von einer Beere. Die fleischige Struktur des Perikarps mit einem häutigen Exokarp kann sich aus einem Karpell, aus chorikarpen oder synkarpen Karpellen entwickeln und kann in Form einer Sammelbeere gesammelt verbreitet werden (vgl. Stützel 2021, S. 42f). Zusätzlich sollte man noch die Apfelfrüchte erwähnen, die aus einem synkarpen, unterständigen Fruchtknoten hervorgehen und deren Perikarp außen fleischig ist und nach innen ledrig wird (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 173).

4.7 Fruchtausbreitung

Die räumliche Ausbreitung der samenhaltigen Früchte von Schließfrüchten und Samen von Streufrüchten kann auf unterschiedliche Weise geschehen und wird in der Biologie unter Diasporenökologie behandelt. Für die Ausbreitung sind sogenannte Ausbreitungsagens notwendig, wozu etwa ist Wasser (= Hydrochorie), Tiere (= Zoochorie) oder der Wind (= Anemochorie) zählen. Seltener ist es auch möglich, dass die Pflanzen selbst als Agens funktionieren (= Autochorie). Eine Möglichkeit von Pflanzen, damit dies geschehen kann, ist der Druckaufbau in Pflanzenteilen und weiterführend das Wegschleudern der Diasporen. Ein solcher Ausbreitungsmechanismus kann in der heimischen Flora bei Arten des neophytischen Springkrauts (*Impatiens*) beobachtet werden (vgl. Stützel 2021, S. 58). Eine weitere Form der Ausbreitung ist die durch den Menschen (= Anthropochorie) (vgl. Hess 2005, S. 102), die von Stützel jedoch zur Zoochorie gezählt wird (vgl. Stützel 2021, S.58). Innerhalb der Zoochorie können verschiedene Formen unterschieden werden. Bei der Endozoochorie kommt es zu einer

Aufnahme der Diasporen beim Fressvorgang, die in weiterer Folge ausgeschieden und somit verbreitet werden. Kadereit et al. gehen auf bestimmte Voraussetzungen für diese Form der Ausbreitung ein (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 173f):

„Voraussetzung für Endozoochorie ist, dass die Diasporen über Lockmittel (Nahrungsstoffe wie Kohlenhydrate, Proteine, Fette und Öle wie auch Vitamine, organische Säuren, Mineralstoffe), Reizmittel (z.B. Farbe und Duft) und Schutzeinrichtungen (Sklerotesta, harte Perikarpteile) gegen die Zerstörung der Samen im Kauapparat oder Darm des ausbreitenden Tieres verfügen.“ (Kadereit et al. 2014, S. 174)

In Zusammenhang mit der Endozoochorie können ko-evolutionäre Vorgänge beobachtet werden. Werden Diasporen durch Vögel ausgebreitet, handelt es sich dabei meist um kontrastfarbige, kleine, weichschalige und duftlose Samen. Darunter fallen unter anderem Beeren, fleischige Samen oder Sammelfrüchte. Bei der Ausbreitung durch Säugetiere zeigen die nun größeren Diasporen unauffällige Färbungen. Dafür locken sie jedoch über Duftstoffe an. Grund dafür sind ihre Mundwerkzeuge und Sinnesleistungen. Werden Früchte durch Fledermäuse ausgebreitet, hängt die Frucht häufig ausgestellt an der Pflanze (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 174). Bei der Epizoochorie werden die Diasporen über die Körperoberfläche der Tiere ausgebreitet (vgl. Stützel 2021, S. 58). Dafür können an den Samen bestimmte Vorrichtungen wie eine schleimige Oberfläche, Drüsenhaare, Widerhaken oder Kletten an den Diasporen zu finden sein. Die Myrmekochorie (Ameisenausbreitung) nimmt eine besondere Form der Zoochorie ein, da es hier zu einer Ausbildung eines ölhaltigen Anhängsels (Elaosome) kommt, das an den Tieren haftet, die sie schließlich verschleppen. Zusätzlich sind in den Elaiosomen Nähr- und Lockstoffe enthalten, die die Tiere anlocken. Die Myrmekochorie ist beispielsweise bei Lerchensporn-Arten (*Cordylis*), bei Veilchen-Arten (*Viola*) oder bei *Allium ursinum* zu beobachten (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 174).

Kommt es zu einer Ausbreitung durch den Wind, wird zwischen Ausbreitung durch Flieger (z.B. der Pappus bei Asteraceae-Arten), Streuer (Ausschüttung der Diasporen) und Roller (Ausbreitung auf dem Boden) unterschiedet (vgl. Stützel 2021, S. 59). Die Ausbreitung über Wasser (Hydrochorie) erfolgt entweder durch das Wegschleudern der Diasporen durch Regentropfen oder dadurch, dass die Diasporen Schwimmgewebe (z.B. *Iris pseudacorus*) oder Luftsäcke (z.B. manche *Carex*-Arten) bilden und somit im Wasser

transportiert werden können. Grundsätzlich kann der Lebensraum der Pflanzen Hinweise darauf geben, wie die Diasporen ausgebreitet werden (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 174):

„Dies wird z.B. daran deutlich, dass in mitteleuropäischen Laubwäldern in der niedrigen Krautschicht Myrmekochorie dominiert, bei höheren Stauden Epizoochorie, in der Strauchschicht Endozoochorie und in der Baumschicht Anemochorie, was der vertikalen Verteilung der Ausbreitungsmedien [...] entspricht.“ (Kadereit et al. 2014, S. 174)

5 Bestäubung und Befruchtung

Die Begriffe „Bestäubung“ und „Befruchtung“ werden im schulischen Kontext oder auch in der Alltagssprache oft synonym verwendet. Als Bestäubung wird jener Vorgang verstanden, bei dem „die Pollenkörner [...] auf die Narbe der Fruchtblätter von Angiospermen transportiert“ (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 165) werden. Hess (2019) ergänzt, dass diese Übertragung des Pollens in der mitteleuropäischen Flora über Wind, Insekten und in seltenen Fällen Wasser passieren kann. Die Befruchtung passiert erst nachdem der Pollen auf die Narbe transportiert wurde, zu keimen beginnt, einen Pollenschlauch ausbildet und eine diploide Zygote gebildet wird (vgl. Hess 2019, S. 38).

5.1 Bestäubung

Es gibt verschiedene Arten der Pollenübertragung. Grob kann zwischen der Selbstbestäubung (Autogamie), der Fremdbestäubung (Allogamie) und Geitonogamie unterschieden werden. Letzteres bezeichnet den Vorgang, bei dem zwei Blüten des gleichen Individuums sich bestäuben, wobei Kadereit et al. anmerken, dass es sich bei Geitonogamie aus genetischer Sicht um eine Art der Selbstbestäubung handelt. Die Selbstbestäubung tritt in den Angiospermen nur selten auf und ist eher bei Coniferopsida und Cycadopsida zu finden. Eine weitere Form der Autogamie ist die sogenannte Kleistogamie, bei der die Bestäubung und Befruchtung bereits in der Blütenknospe stattfindet. Da Selbstbestäubung evolutionsbiologische Nachteile hat, gibt es Mechanismen, die Autogamie verhindern können. Dazu zählt etwa Selbstinkompatibilität oder Dichogamie (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 165, 513). Grundsätzlich kann bei der Allogamie in Übertragung durch Wind, Wasser und Tiere unterschieden werden.

Besonders die letztere Form der Pollenübertragung kann noch weiter gegliedert werden. Hess führt an, dass 5 % der Pflanzenpollen durch Wasser, 10 % durch Wind und 85 % durch Tiere von Blüte zu Blüte transportiert werden (vgl. Hess 2019, S. 108).

5.2 Wasserbestäubung (Hydrophilie)

Findet die Pollenübertragung über das Wasser statt, spricht man von der sogenannten Hydrophilie, also der Wasserbestäubung. Diese Art der Bestäubung tritt nur sehr selten auf, etwa bei dem Hornblatt (*Ceratophyllum*) und dem Seegras (*Zostera*) (vgl. Hess 2019, S. 109). Werden die Blüten von hydrophilen Pflanzen betrachtet, so fällt auf, dass ihre Blütenhüllen stark reduziert vorliegen, einfach aufgebaut sind und teilweise nur aus Antheren und Gynoeceum bestehen. Ebenfalls werden große Mengen an Pollen produziert und über das Wasser transportiert, um eine Bestäubung zu ermöglichen (vgl. Kremer 2013, S. 127). Obwohl es eine Vielzahl an in Wasser lebenden Pflanzen gibt, werden ihre über dem Wasser wachsenden Blüten dennoch über Insekten bestäubt. Einen besonderen Übertragungsvektor nimmt jedoch das Regenwasser ein (vgl. Hess 2019, S. 109):

„Dabei soll sich Regenwasser in den Blüten etwa der Sumpfdotterblume sammeln. Pollen, der von den eigenen Staubblättern hineinfällt, soll über das im Wind bewegte Wasser zu den Narben getragen werden.“ (Hess 2019, S. 109)

Bei *Vallisneria* wie auch *Elodea* werden die Knospen der männlichen Blüten über das Wasser zu Narben anderer Blüten übertragen, womit auch hier von Hydrophilie gesprochen werden kann (vgl. Kadereit et al. 2019, S. 166).

5.3 Windbestäubung (Anemophilie)

Die Windbestäubung tritt im Gegensatz zur Wasserbestäubung in deutlich mehr Arten auf, sind es doch innerhalb der mitteleuropäischen Arten 21 %, die den Pollen über diese Weise zu Bestäubungszwecken transportieren. Je nachdem, welche Gegebenheiten im geographischen Umfeld herrschen, so kann dieser Prozentsatz noch erhöht sein, wie die Halligen-Inseln an der Nordseeküste mit 47 % Windbestäubung zeigen. Eine

Voraussetzung für die Anemophilie, neben der des Transportfaktors des Windes, ist, dass große Mengen an Pollen produziert werden müssen. Abseits der Windrichtung erfolgt Anemophilie ungerichtet (vgl. Hess 2019, S. 109), wodurch es notwendig ist, erhebliche Pollenmengen für die Bestäubung abzusetzen: „Eine einzige ausgewachsene Fichte (*Picea abies*) oder eine Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) setzt jährlich während der Blütezeit in April/Mai etwa fünfzig Milliarden Pollenkörner an die Luft“ (Kremer 2013, S. 141). Der Pollen an sich zeigt ebenso Besonderheiten, unter anderem ihr leichtes Gewicht, teilweise fehlende Luftsäcke oder eine verringerte Größe, was bei der Verteilung durch den Wind als Vorteil dient. Blickt man auf die Blüten von windbestäubten Pflanzen, so fällt auf, dass sie meist eingeschlechtlich sind und über keinen Blütenduft oder Nektar verfügen. Zudem sind die Blüten häufig unauffällig und reduziert oder fehlt gänzlich, jedoch ist die Narbe freiliegend und vergrößert (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 165). Hinzukommt, dass sich die Antheren auf langen und dünnen Stielen befinden, um es dem Pollen zu erleichtern, vom Wind erfasst zu werden (vgl. Kremer 2013, S. 140f). Eine weitere Besonderheit bei einigen windbestäubten Arten ist die frühe Bestäubung. Diese tritt meist vor der Blattentfaltung auf, um die Bestäubung zu erleichtern (z.B. Hasel, Esche, Pappel) (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 166). Während einige Arten der Gymnospermen primär windblütig sind, sind auch Arten der Angiospermen von der Insektenbestäubung sekundär zu der Anemophilie übergegangen, wie etwa die Poaceae, Cyperaceae oder Juncaceae. Bei den Poaceae kann die Reduktion der Blütenhülle beobachtet werden und sie folgen einem abgeleiteten Aufbau einer Angiospermenblüte. Ebenso können Merkmale der Windblütigkeit, neben der reduzierten Blütenhülle, erkannt werden. Darunter fallen etwa die Antheren auf langen Filamenten oder die federartigen Narben (vgl. Hess 2005, S. 131f). Ein besonderes Beispiel der sekundären Windblütigkeit stellt der Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) dar: „Aber auch im Blütenstand selbst darf es keine störenden Oberflächen geben. Folglich fehlen gut ausgebildete Hochblätter, Deckblätter und Blütenhüllblätter. An ihrer Stelle sind z.T. derbe Spelzen getreten.“ (Hess 2019, S. 111). Diese Spelzen führen zwar ebenso eine Schutzfunktion aus, sind aber so ausgebildet, dass sie kein Hindernis in der Bestäubung sind. Anhand des Pollens des Glatthafers erkennt man ebenso noch Merkmale der ehemaligen Insektenblütigkeit, nämlich in Form des Pollenkitts. Dieser sorgt bei insektenblütigen Pflanzen für eine Aggregation des Pollens zu einer größeren Einheit. Bei Poaceae bzw. bei sekundär

windblütigen Pflanzen können Spuren davon gefunden werden, jedoch wird diese Funktion bei der Windblütigkeit nicht ausgeführt. Weitere Beispiele für Windbestäubung sind etwa die Koniferen, die Kätzchenblütler (Amentiferae) und manche Wasserpflanzen, z.B. das Tausendblatt (*Myriophyllum*). Allerdings gibt es in der mitteleuropäischen Flora zudem noch Pflanzen, die sowohl wind- als auch tierbestäubt sind. Darunter fallen die Linde (*Tilia*), die Weide (*Salix*) oder gelegentlich ebenso manche Hahnenfußgewächse (Ranunculaceae) oder Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae) (vgl. Hess 2019, S. 110f).

5.4 Tierbestäubung (Zoophilie)

Die Tierbestäubung, als häufigste Form der Bestäubung, sorgt in Ökosystemen für genetische Vielfalt, Arterhaltung und in diesem Sinne auch die Sicherung der Evolution. In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, welche Aspekte die Tierbestäubung kennzeichnen, welche Bestäubungsmechanismen seitens verschiedener Pflanzenfamilien sich je nach der beteiligten Tierart entwickelt haben und in weiterer Folge, welche ökologischen Konsequenzen die Tierbestäubung nach sich zieht sowie welche Rolle die Co-Evolution dabei spielt. Ebenso werden die unterschiedlichen Arten der Tierbestäubung kategorisiert und beschrieben.

Die Zoophilie ist ein aus der Anemophilie abgeleitetes Merkmal der Spermatophyta (vgl. Hess 2005, S. 62). Die tatsächliche Entstehung der bestäubenden Beziehung zwischen Angiospermen und Tieren ist teilweise umstritten. So spricht Kremer davon, dass „vor allem Insekten, aber auch kleinere Wirbeltiere“ (Kremer 2013, S. 150) ungefähr während bzw. gegen Ende der Kreidezeit als Bestäuber zu zählen sind (vgl. Kremer 2013, S. 150). Del-Claro und Torezan-Silingardi sprechen hingegen von einem anderen Zeitrahmen:

„Suggestive evidence of nectar feeding and pollination by insects dates to 300 myr, with great diversification in the feeding habits of herbivorous insects around 200-150 myr in the Mesozoic“ (Del-Claro, Torezan-Siligardi 2021, S. 5)

Sie merken jedoch auch an, dass es einen Zusammenhang in der Diversifikation zwischen Bedecktsamern und Insekten während der Kreidezeit gibt (vgl. Del-Claro, Torezan-Siligardi 2021, S. 5).

Zoophilie bedeutet grundlegend, dass der Pollen einer Pflanze von Bestäubern, meist im Gegenzug für Nahrung (meist Pollen oder Nektar), zu einer anderen Pflanze der gleichen

Art transportiert wird und es somit zu einer genetischen Rekombination kommt (vgl. Stützel 2021, S. 52). Um zu definieren, ob es sich bei den Blütenbesuchern auch um tatsächliche Bestäuber handelt, gibt Ollerton folgende Grundzüge eines Bestäubers an:

„1. transfer of pollen onto a vector 2. transport of pollen by that vector 3. transfer of pollen from the vector to the stigma of a flower 4. the deposited pollen effecting fertilisation of ovule“ (Ollerton 2021, S. 5)

Das heißt, dass Bestäuber, im Gegensatz zu Blütenbesuchern, die lediglich Nektar oder Samen der Pflanzen zu sich nehmen und keine weiteren Blüten bestäuben, nicht nur eine Blüte derselben Art besuchen müssen, sondern zumindest zwei (vgl. Ollerton 2021, S. 5). Die Beziehung zwischen Pflanze/Blüte und Bestäuber ist somit als zweckmäßig zu betrachten und erfüllt mehrere Funktionen. Bei zweihäusigen Blüten kann es vorkommen, dass Blütenbesucher zur Pflanze kommen, um dort Pollen zu sammeln und nicht zur weiblichen Blüte zu gehen, da diese ihm keinen Pollen bietet. Eine Möglichkeit, um dies zu umgehen ist, das Anbieten von Nektar von den weiblichen Blüten, um so nicht nur einen Besuch der männlichen Blüte, sondern die Wahrscheinlichkeit der Bestäubung der weiblichen Blüte zu fördern. Eine weitere Möglichkeit zeigen zwittrige Blüten, auf denen männliche und weibliche Blütenorgane zu finden sind, um so eine Bestäubung zu sichern. Zwittrige Blüten können zudem neben Selbstbestäubung Selbst- oder Nachbarbestäubung durchführen. Dennoch wird die Fremdbestäubung gefördert und es kommt somit zu einem Vorantreiben der Evolution (vgl. Hess 2019, S. 119ff). Um Bestäuber zur Blüte zu locken benötigt es sogenannte Reizmittel. Damit dieser Besuch nun auch regelmäßig geschieht, bieten die Blüten Lockmittel. Zu den Reizmitteln zählen unter anderem Duft und Farbe. Die Blütenfarbe wird durch Pflanzenfarbstoffe in der Vakuole, z.B. Anthocyane, Betalaine oder Anthoxanthine, oder aus den Plastiden, z.B. Carotinoide oder Xanthophylle, produziert (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 166). Je nach Menge des Farbstoffes, Lage der verschiedenen Farbstoffzellen, der Oberflächenstruktur der Epidermis oder auch der Durchlässigkeit und Reflexion von Farben kann das Erscheinungsbild der Blüte beeinflusst werden (vgl. Hess 2019, S. 135). Wie man anhand des Saftmals von *Aesculus* beobachten kann, ist es möglich, dass sich die Blütenfarben im Alterungsprozess der Blüten verändern können (vgl. Hess 2019, S. 135). Solche Veränderungen sind auch im Blütenduft zu verzeichnen. Dieser kann sich tageszeitspezifisch verändern: „Viele nachts geöffneten Blüten duften nur in der Nacht

und machen so Nachtfalter auf sich aufmerksam. Tagsüber wird die Duftproduktion und vielfach gekoppelt mit ihr auch die Nektarsekretion eingestellt“ (Hess 2019, S. 138). Der Blütenduft setzt sich aus verschiedenen Substanzen zusammen, unter anderem zählen dazu Alkohole, Benzenoide, Terpene, Ester oder Ketone. Die Zusammensetzung des Blütenduftes kann manche männlichen Insekten anreizen, die Blüte zu besuchen, indem sie Sexualpheromone weiblicher Insekten imitiert. Abgegeben werden können die Duftstoffe von unterschiedlichen Blütenorganen (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 166).

Zu den Lockmitteln der Angiospermen zählen vor allem Pollen und Nektar, jedoch wird ebenso der Sexualtrieb, aber auch die Möglichkeit eines Brut- und Eiablageplatzes dazu verwendet, mögliche Bestäuber anzulocken (vgl. Hess 2019, S. 140). Pollenblumen bieten den Besuchern enorme Mengen an Pollen, der sich aus Fetten, Proteinen, Vitaminen und Kohlenhydraten zusammensetzt. Bei Nektarblumen stoßen die Bestäuber auf eine wässrige Zusammensetzung aus Glucose, Saccharose und Fructose, die für die Pflanze einfacher herzustellen ist als der Pollen. Nektar kann an unterschiedlichen Stellen der Blüte gebildet und präsentiert werden. Je nach Positionierung des Nektars in der Blüte, können sich die Bestäuber unterscheiden. Befindet sich der Nektar etwa in einem Blütensporn oder in einer Kronröhre, so ist es nur bestimmten Bestäubern mit dem passenden Mundwerkzeug möglich, zum Nektar zu gelangen. Neben Pollen und Nektar als *reward* bieten manche Blüten, z.B. *Ficus carica* oder *Yucca*, die Möglichkeit zum Brüten und zur Eiablage (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 167). Besonders in der Gattung *Ophrys* der Orchidaceae nutzen die Blüten auch den Sexualtrieb der bestäubenden Tiere. Man spricht hierbei von sogenannten Täuschblumen. Als Form der Mimikry wird von den Blüten die Gestalt weiblicher Insekten der bestäubenden Art vorgetäuscht. Fliegen die Insektenmännchen die Blüte an, erfolgt ein Kopulationsversuch, bei dem der Pollen aufgenommen und bei der nächsten Blüte auf der Narbe abgeladen wird. Auch der Duft oder taktile Signale, wie Behaarung, werden von den Täuschblumen zugunsten einer Bestäubung genutzt. Besonders Tiere der Hautflügler (Hymenoptera) werden von Orchideen mit dieser Methode angelockt. In der heimischen Flora können etwa die Fliegen-Ragwurz (*Ophrys insectifera*), die Hummel-Ragwurz (*Ophrys holoserica*), die Spinnen-Ragwurz (*Ophrys sphegodes*) oder die Bienen-Ragwurz (*Ophrys apifera*) unterschieden werden (vgl. Hess 2019, S. 148f).

Bevor auf die unterschiedlichen Arten der Tierbestäubung und ihre Syndrome eingegangen wird, sollte kurz auf die Unterscheidung der Gestalttypen von Blumen, die eng im Zusammenhang mit ihren Bestäubern stehen, behandelt werden.

5.4.1 Blumentypen

Bei den verschiedenen Gestalttypen von Blumen kann ein Zusammenhang zwischen der Form und dem Bestäuber erkannt werden. Grundsätzlich ist es so, dass dabei ganze Blütenstände, Blüten oder lediglich Teilblüten Gestalttypen annehmen können (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 168). Die sogenannten Scheiben- und Napfblumen zeigen abgeflachte und weit ausgestreckte Scheiben oder trichterförmige Schalen (=Napfblumen). Zu dieser Gruppe können etwa Blütenstände der Doldenblütler (Apiaceae) oder der Korbblütler (Asteraceae) (vgl. Hess 2019, S. 205), aber auch Einzelblüten der Windröschen (*Anemone*) gezählt werden. Käfer (Coleoptera) oder kurzrüsselige Insekten wie Fliegen (Diptera) zählen zu ihren Bestäubern, worauf im Weiteren noch eingegangen wird. Werden Becher- oder Glocken ausgebildet, so spricht man von den Glockenblumen, wozu etwa der Haselwurz (*Asarum europaeum*), das Schneeglöckchen (*Galanthus nivalis*) oder Blüten der Solanaceae, Campanulaceae oder Ericaceae gezählt werden. Wird die Blütenmitte immer enger, bis sich eine sogenannte Röhre ausbildet, so spricht man von einer Röhrenblüte. Diese Röhre ist meist so eng, sodass Bestäuber nicht in sie eindringen können. Der Zugang zum Nektar ist demnach nur durch einen langen Rüssel oder eine lange Zunge möglich. Bestäuber wie Kolibris oder Schwärmer besuchen diesen Blumentyp, wozu etwa der Enzian (*Gentiana*) oder das Leimkraut (*Silene*) gezählt werden (vgl. Hess 2019, S. 205, 214, 248f). Befindet sich Nektar im Sporn, handelt es sich um Spornblumen (z.B. *Viola*). Wenn es hingegen nicht nur einen, sondern mehrere Zugänge zu dem Nektar gibt, ist von sogenannten Revolverblumen die Rede. Lippen-, Masken-, Rachen – und Fahnenblumen sind zygomorph aufgebaut (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 168). Die Gestalt der Rachen-, Lippen- und Maskenblumen „ist auf den dorsiventralen Bau der besuchenden Insekten abgestimmt. Staubblätter und Griffel befinden sich in der oberen Hälfte der Blüte“ (Hess 2019, S. 224). Beim Blütenbesuch werden entweder Kopf oder Rücken mit dem Pollen

bedeckt, der bei der nächsten Blüte an der Narbe abgestreift wird. Zudem ist der Blütenschlund der Lippenblumen vergrößert, sodass die Bestäuber auf der Blüte landen und in sie eindringen können. Rachenblumen, z.B. *Digitalis purpurea*, werden hauptsächlich von Vögeln bestäubt, während Maskenblumen, z.B. *Salvia officinalis*, hauptsächlich von Hummeln, aber auch von Tag- und Nachtfalter besucht werden. Der vormännliche Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*) sowie weitere *Salvia*-Arten zeigen einen sogenannten Schlagbaum-Mechanismus als Bestäubungseinrichtung. Dabei landet der Bestäuber auf der vergrößerten Unterlippe. Die Theken der Staubblätter und der Griffel befinden sich in der Oberlippe. Durch eine Veränderung in der Morphologie der Staubblätter sind die unteren Filamente der Staubblätter mit der Kronröhre verwachsen, biegen die oberen Filamente nach oben ab und bilden ein Verbindungsstück für die langgezogenen Konnektive, auf denen die fertilen Theken sitzen. Ein kürzerer Teil des Konnektivs bildet eine verwachsene Platte aus, „die aus der anderen Theke entstanden ist“ (Hess 2019, S. 236). Wenn nun eine Hummel in den Blütenschlund zum Nektar vordringen will, wird die Platte mit dem Kopf bewegt, wodurch die langen Konnektivarme mit den Theken den Pollen am Rücken abladen. Dieser wird beim Besuch der nächsten Blütenbesuch zu den gespreizten Narbenlappen transportiert. Auch unter den Fabaceae gibt es mehrere Bestäubungsmechanismen, etwa den Klappmechanismus, den Bürsten- oder den Schnellmechanismus (vgl. Hess 2019, S. 224-242). Bei Pinselblumen oder Bürstenblumen sind die Staubblätter aus der Blüte herausgestreckt. Fallenblüten, wie der Name ahnen lässt, „fangen Insekten vorübergehend“ (Kadereit et al. 2014, S. 168). Zu ihnen können Blüten der Aronstäbe (*Arum*) gezählt werden (vgl. Kadereit et al. 2014, S. 168).

5.4.2 Blumenstile und ihre Syndrome

Unter Syndrome werden gewisse Merkmalskomplexe verstanden, die dabei helfen, die nächstgenannten Blumenstile ökologisch zu kategorisieren und einzuteilen. Diese Syndrome korrelieren meist mit Merkmalen der jeweiligen Pollenvermittler. Es können demnach selektive Anpassungen der Angiospermen und ihrer Bestäuber beschrieben werden, um den Mundwerkzeugen, dem Körperbau, den Nahrungsbedürfnissen oder auch dem Verhalten der bestäubenden Tiere gerecht zu werden (vgl. Kadereit et al. 2014,

S. 168). Die zuvor genannten Merkmalskomplexe der Zoophilie, etwa zwittrige Blüten, auffällige Färbungen oder Düfte oder Reizmittel in Form von Pollen oder Nektar, können noch weiter untergliedert werden, um so ein konkretes Bild zu den jeweiligen Bestäubern zu vermitteln (vgl. Leins 2000, S. 206f). Es werden unterschiedliche Arten der Entomophilie sowie der Bestäubung durch Säugetiere („Mammaliophilie“) besprochen, jedoch wird auf die Anatomie bzw. die Zoologie der jeweiligen Tiere nur in Zusammenhang mit den Bestäubungsprozessen eingegangen.

5.5 Formen unterschiedlicher Zoophilie

5.5.1 Käferblumen/ Käferbestäubung (Cantharophilie)

Arthropoden können grob in Kopf (Caput), Thorax und Abdomen gegliedert werden. Im Dienst der Nahrungsaufnahme stehen die Mundwerkzeuge, bei denen das Oberkiefer (Mandibeln), das Unterkiefer (Maxillen), die Oberlippe (Labrum), die Unterlippe (Labium) und die Hypopharynx unterschieden werden können. Die Mundwerkzeuge der Coleoptera sind beißend-kauend und sie können orthognath, das heißt, im rechten Winkel ventral zeigend ausgerichtet, oder prognath, also senkrecht zum Körper, ausgebildet sein (vgl. Seifert 2010, S. 47f, 52). Aus einer evolutionären Perspektive können Käfer als erste Blütenbesucher und -bestäuber während der Kreidezeit gesehen werden. Mithilfe ihrer Mundwerkzeuge können sie Blüten inklusive dem in ihnen enthaltenen Pollen und Nektar fressen, damit zerstören sie jedoch auch viele Blütenorgane (vgl. Leins 2000, S. 218), wobei der Nektar auch durch Borstensysteme aufgesaugt werden kann (vgl. Hess 2019, S. 267). Inzwischen nehmen Käfer nur mehr eine untergeordnete Rolle als Pflanzenbestäuber ein, da viele der Käferblumen zudem von anderen Tieren bestäubt werden. Zu ihnen werden etwa Vertreter folgender Familien gezählt: Schnellkäfer (Elateridae), Glanzkäfer (Nitidulidae), Weichkäfer (Cantharidae), Blattkäfer (Chrysomelidae), Laubkäfer (Scarabaeidae), Bockkäfer (Cerambycidae), Marienkäfer (Coccinella) oder Blumenkäfer (Anthicidae). Typische Syndrome für Käferblumen sind die Ausbildung von großen und derben Schalen- und Scheibenblumen mit offenen Blüten, eine hohe Anzahl an Stamina und eine damit einhergehende hohe Pollenproduktion, fruchtige bis faulige Blütendüfte und, wenn sekundär vorhanden, frei zugänglicher Nektar. Ebenso typisch für Käferblumen ist eine weiße, gelbliche oder eine bräunlich-rote

Blütenfarbe. Aufgrund der evolutionären Entwicklungsgeschichte der Käferblumen kann zwischen primären und sekundären Käferblumen unterschieden werden. Bei primären Käferblumen ist im Gegensatz zu sekundären Käferblumen kein Nektar vorhanden. Zu den primären oder archaischen Käferblumen können Pfingstrosen (*Paeonia*) oder Magnolien (*Magnolia*) unter anderem gezählt werden. Als Beispiel der abgeleiteten Käferblumen ist *Philodendron selloum* zu nennen, der mittels Temperaturerhöhung Düfte aussendet, die die Bestäuber anlocken, die danach bis zu 24 Stunden in ihnen verweilen. Die Käfer bestäuben die weiblichen Blüten, indem der Pollen mittels einer klebrigen Flüssigkeit an ihnen haften bleibt (vgl. Leins 2000, S. 219f). Ein weiteres Beispiel für eine typische Käferblume, die im Gegensatz zu *Philodendron selloum* auch in heimischen Gärten anzutreffen ist, ist der Gewürzstrauch (*Calycanthus*). Auch hier werden die Käfer in einer Falle gefangen und es kommt zu einer Pollenübertragung auf die Narbe. Im Gegenzug zur Bestäubung werden Futterkörper geboten. Zu Käferblumen zählen ebenso die Scheiben- und Schalenblumen vieler Apiaceae sowie der Titanenwurz (*Amorphophallus titanum*) (vgl. Hess 2019, S. 267).

5.5.2 Fliegenblumen/ Fliegenbestäubung (Myiophilie)

Ähnlich wie die Coleoptera kann die Geschichte der Blüte-Bestäuber-Interaktionen bereits auf die Kreide zurückgeführt werden. Die Zweiflügler (Diptera) können in die beiden Unterordnungen Mücken (Nematocera) und Fliegen (Brachycera) unterteilt werden und auch hier sollen zuerst die leckend-saugenden Mundwerkzeuge genauer betrachtet werden (vgl. Hess 2019, S. 268). Innerhalb der Diptera können leckend-saugende und stechend-saugende Mundwerkzeuge vorkommen, jedoch sind nur die ersteren für den Kontext der Pflanzen-Bestäuber-Interaktionen von Bedeutung. Die Mundwerkzeuge der Diptera unterliegen vielen Modifikationen: „in all of them the food canal is formed between the apposed labrum and labium and the salivary canal runs through the hypopharynx“ (Simpson 2013, o.S.). Zusätzlich wird eine lappenartige Struktur, das Labellum, aus dem Labium gebildet, das von Pseudotracheen durchzogen ist (vgl. Simpson 2012, o.S.). Dieses Rinnensystem aus Pseudotracheen hilft dabei, flüssige Nahrung aufzusaugen und Speichel zu verteilen (vgl. Dettner, Peters 2010, S. 873). Jedoch können Diptera nicht nur flüssige Nahrung durch ihren Rüssel aufnehmen,

sondern mittels „Zähnchen“ Pollen, der an den zahnartigen Rillen kratzt und somit gemeinsam mit Nektar oder Speichel aufgenommen werden kann (vgl. Leins 2000, S. 220). Eine Voraussetzung für die Bestäubung durch Fliegen bzw. ein typisches Fliegenblumen-Syndrom, abseits der Aasfliegenblumen, ist der freiliegende Nektar. Obwohl Fliegen teilweise eine Rüssellänge von mehr als 10 mm erreichen (z.B. Wollschweber (*Bombylius major*), besitzt die Mehrheit der heimischen Fliegen über einen weitaus kürzeren Rüssel, der offenliegenden Nektar zur Notwendigkeit macht (vgl. Hess 2019, S. 268f). Weitere Anpassungsmerkmale der Fliegenblumen an ihre Bestäuber sind der aminoide bis zitronige Duft sowie die Blütenfarben, die von schmutzig-weiß und -gelb über grüngelb bis rotbraun reichen. Als Gestalttypen sind meist Scheiben- und Schalenblumen sowie Kesselfallen- und Klemmfallenblumen bei den Aasfliegenblumen anzutreffen (vgl. Leins 2000, S. 219). Die Aasfliegenblumen ziehen durch Geruchsaussendungen ihre Bestäuber an. Der im besten Falle von einer anderen Aasfliegenblume mitgebrachte Pollen, wird auf die weiblichen Geschlechtsorgane abgelegt, indem sie versuchen aus der Falle herauszufliegen. Neue Pollenpakete werden, im Gegenzug zu Nektar, an den Fliegen abgestreift. Aasfliegenblumen können jedoch auch Brutplatz und Eiablageplatz vortäuschen. Durch das Vortäuschen von Geruch und Aussehen von Aas werden Aasfliegen angelockt, wodurch die Fliegen, ähnlich wie zuvor, die Blüten durch Fallen bestäuben (vgl. Hess 2019, S. 145ff). Zu Aasfliegenblumen können Pflanzen der Gattung *Arum* oder *Aristolochia* gezählt werden.

5.5.3 Bienenblumen/Bienenbestäubung (Melittophilie)

Die Hymenoptera, zu denen sowohl die Pflanzenwespen (Symphyta) als auch die Taillenwespen (Apocrita) gezählt werden, bilden die artenreichste Insektenordnung. Zu den 11300 Arten werden viele Pflanzenbestäuber gezählt. Die monophyletische Unterordnung der Apocrita kann in Terebrantes und Aculeata untergliedert werden. Zu Letzterer werden die Apidae (Echte Bienen), die Megachilidae (Blattschneiderbienen), die Halictidae (Schmalbienen) und die Andrenidae (Sandbienen) gezählt. Die charakteristisch gelb, braun oder schwarz, aber auch grün- oder blau-metallisch, gefärbten Imagines weisen leckend-saugende Mundwerkzeuge auf, die sich aus den

ursprünglichen kauenden Mundwerkzeugen entwickelt haben (vgl. Dettner, Peters 2010, S. 839):

„Das Mundfeld kann vorgezogen und im Bereich von Cardo-Stipes der Maxillen sowie von Submentum-Mentum des Labiums geknickt sein. Während Galeae, Glossa und Labialpalpen in dieser Entwicklungsreihe gefördert werden, bleiben Lacinien, Maxillarpalpen und Paraglossen klein“ (Dettner, Peters 2010, S. 839)

Je nach Art, werden die Mandibeln anders eingesetzt. Bei Honigbienen dienen sie zum Beispiel zur Modellierung von Wachs im Bau (vgl. Dettner Peters 2010, S. 839). Die Rüssel der unterschiedlichen Bienenarten können differieren und können zwischen nur einem Millimeter und 22 mm lang sein (vgl. Hess 2019, S. 271). Die Zunge der Hymenoptera kann ebenso unterschiedliche Längen einnehmen. So wird im wissenschaftlichen Diskurs zwischen Short-Tongued und Long-Tongued Bienen unterschieden. Bienen mit einer langen Zunge, eine monophyletische Gruppe, zeigen verlängerte Segmente der Labialpalpen, die gemeinsam mit der Galea, einer Außenlade der Maxille, einen Kanal oder Rüssel bilden, in dem sich die Zunge frei bewegen kann (vgl. Michener 2007, S. 83f). Mithilfe der Zunge wird der Nektar aufgenommen und mithilfe des Glossalkanals weitertransportiert. Durch das Zurückziehen der Zunge wird der Nektar durch eine Schlundpumpe in das Verdauungssystem weitergeleitet (vgl. Leins 2000, S. 227).

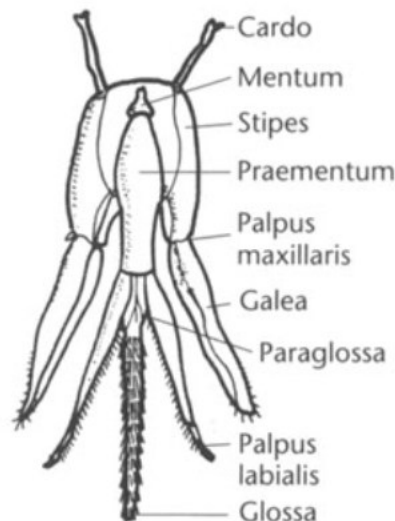


Abbildung 3 Rüssel einer Honigbiene ausgebreitet nach Weber (1956) in Dettner, Peters (2010)

Die paraphyletischen kurzzüngigen Bienen zeigen hingegen nur geringere Veränderungen der Labialpalpen und haben grundsätzlich viele ursprüngliche Merkmale wie das Vorhandensein des Galeakamms oder das Fehlen der Längsrille, des Glossalkanals und der Zunge (vgl. Michener 2007, S. 83f). Zu den kurzzüngigen oder kurzzüngigen Bienen

können etwa Andrenen gezählt werden, die aufgrund ihrer Rüssellänge oft Fliegenblumen besuchen und bestäuben (vgl. Leins 2000, S. 227).

Wie in weiterer Folge im Kapitel zu den Wespen bzw. der Wespenbestäubung angeschnitten wird, sind Bienen im Gegensatz zu Wespen fast ausschließlich als Pflanzenfresser zu erachten. Nektar bildet für Imagines und Larven einen wichtigen Teil der Ernährung sowie Pollen, besonders für die Larven, aber zum Teil auch für die adulten Tiere. Der Nektar, genauer gesagt der Saccharoseanteil des Nektars, wird durch enzymatische Prozesse in Honig umgewandelt. Die Abhängigkeit der Bienen von den pflanzlichen Nahrungsbestandteilen macht sie somit zu sehr häufigen Blütenbesuchern und dementsprechend auch zu ökologisch wichtigen Bestäubern. Diesen Zusammenhang erkennt man auch in der Morphologie der Bienenblumen, die eine spezielle Adaptation an Melittophilie zeigen (vgl. Proctor et al. 1996, S. 108). Zu den Merkmalen von Bienenblumen zählen süßliche Blütendüfte, Blütenmale oder auch die gelbe, blaue oder weiße Blütenfarbe. Zudem liegt der Nektar in einer bis zu 15 mm tiefen Röhre, die so eng ist, dass die Bestäuber nicht hineinkriechen können. Zu den Gestaltungstypen der Blüten werden Glocken-, Rachen-, Lippen-, Fahnen-, Röhren-, Masken- sowie Pinselblumen gezählt (vgl. Leins 2000, S. 219). Morphologisch besonders ist die angebotene Landemöglichkeit, die meist Oberflächenveränderungen aufweist, um auf den zygomorphen Blüten Halt zu gewähren (vgl. Hess 2019, S. 272). Der Pollen kann aktiv oder passiv durch die Bienen gesammelt werden. Bei der passiven Sammlung wird der Pollen durch gefiederte Haare, meist auf den Beinen oder im Gesichtsbereich, aufgenommen. Die aktive Sammlung wird ebenso meist durch die behaarten Beine getätigt. Dabei sind die Hinterbeine mit einem Pollenkamm und einem Körbchen bzw. die Vorderbeine mit einer Putzscharte ausgestattet. Der Pollen kann mithilfe der Mundwerkzeuge aus den Blüten herausgenommen werden oder durch das Aufbeißen der Antheren gesammelt werden. Eine andere Möglichkeit ist durch den Einsatz von pumpartigen oder scharrenden Bewegungen (vgl. Willmer 2011, S. 384f):

„Thus bees are commonly described as „scrabbling“ at the surface to fully open anthers, or „pumping“ their forelegs in and out of more enclosed elongate anthers. Scrabbling actions are particularly noticeable where bees gather grass pollens, exposed on long feathery anthers;“ (Willmer 2011, S.385)

Die Bienenbestäubung kann in zahlreichen Pflanzenfamilien gefunden werden. Vor allem die Fabaceae, die Lamiaceae, die Campanulaceae, die Asteraceae oder auch die

Apiaceae und noch viele weitere werden, unter anderem, von Bienen bestäubt (vgl. Leins 2000, S. 227). Als konkrete Beispiele für Bienenblumen können *Malus sylvestris*, *Pyrus communis*, *Nigella damascena*, *Borago officinalis*, *Galanthus nivalis*, *Digitalis purpurea*, *Trifolium pratense* oder *Aquilegia vulgaris* genannt werden. Diese Aufzählung kann jedoch um zahlreiche Blüten noch ergänzt werden (vgl. Hess 2019, S. 272).

5.5.4 Wespenblumen/Wespenbestäubung (Sphecophilie)

Während Bienen als bekannte Bestäuber gelten, nehmen auch manche Wespenarten eine Rolle in der Bestäubung von Blüten ein. Der Begriff „Wespen“ meint in diesem Zusammenhang genauer gesagt die Vespidae, die echten Wespen, die Schlupfwespen (Ichneumonidae), die Feigenwespen (Agaonidae) und die Grabwespen (Sphecidae). Grundsätzlich ernähren sich die Echten Wespen hauptsächlich von tierischer Nahrung in Form von Insekten und Spinnen. So werden auch die Larven der Vespidae ausschließlich mit tierischer Nahrung ernährt. Das Trinken von Nektar ist für die adulten Tiere, mit beißend-leckenden Mundwerkzeugen, eine Art Zusatz in ihrer Ernährung. Dementsprechend selten findet eine Bestäubung durch Wespen tatsächlich statt (vgl. Hess 2019, S. 268). Bei Wespenblumen handelt es sich meist um Scheiben- oder Schalenblumen, seltener um kurze Rachen- oder Glockenblumen. Die Blütenfarben können weißlich, braun oder gelblich sein und der Nektar ist frei zugänglich (vgl. Leins 2000, S. 219), was mit der kurzen Zunge der Wespen zusammenhängt. Wespen nehmen oft erst im Herbst eine bestäubungsökologische Rolle ein, da die Versorgung der Larven zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossen sein sollte. Dies kann beispielsweise bei dem Efeu (*Hedera helix*) beobachtet werden, der jedoch keine klassische Wespenblume ist. Ein geeigneteres Beispiel ist der proterogyne Braunwurz (*Scrophularia*), der von den Echten Wespen bestäubt wird. Dabei handelt es sich um eine Rachenblume mit Nektar, die von den Wespen angefliegen wird. Die nach vorne geklappte Narbe oder die Antheren werden bauchseitig berührt, wobei entweder Pollen gesammelt oder abgeladen wird. Weiters werden auch die Zwergmispel (*Cotoneaster*), einige Sumpfwurz-Arten (*Epipactis*) oder viele Blüten der Apiaceae von den Echten Wespen bestäubt (vgl. Hess 2019, S. 268). Die Grabwespen gelten auch als Bestäuber der heimischen Orchideengattung *Ophrys*, genauer gesagt des Fliegen-Ragwurzes (*Ophrys insectifera*) (vgl. Leins 2000, S. 233).

5.5.5 Falterbestäubung – Lepidopterophilie

Grundsätzlich kann die Lepidopterophilie in Tag- und Nachtfalterbestäubung bzw. psychophile und sphingophile Blumen untergliedert werden. Leins folgt bei dieser Einteilung nicht der systematisch korrekten Einteilung (vgl. Leins 2000, S. 233), da diese nicht der wissenschaftlich anerkannten Systematik folgt (vgl. Dettner, Peters 2010, S. 852), sondern den circadianen Rhythmus der aktiven Blütenbesuche miteinzieht (vgl. Leins 2000, S. 233). Den Tag- und Nachtfaltern, bis auf die Unterordnung der ursprünglichen Zeugloptera, welche mit beißend-kauenden Mundwerkzeugen ausgestattet und demnach Pollensammler sind, ist gemeinsam, dass sie leckend-saugende Mundwerkzeuge besitzen. Bei diesen Mundwerkzeugen sind die Mandibeln stark bzw. nahezu vollständig reduziert. Weitere Veränderungen der ursprünglichen Mundwerkzeuge, etwa die Vergrößerung der Galeae, resultieren in dem für die Lepidoptera typischen Saugrüssel (vgl. Dettner 2010, S. 856). Durch die Veränderung der rinnenförmigen Galeae zu einem hohlen Kanal entsteht der Fresskanal, in dem die flüssige Nahrung aufgenommen werden kann. Muskeln in und um die Galeae bzw. den Saugrüssel ermöglichen das Ein- und Ausrollen auf der Kopfunterseite. Sind Lepidoptera somit auf der Suche nach Nektar, werden sie beim Blütenbesuch am Rüssel oder Kopf mit Pollen belegt. Aufgrund der hohen Vielfalt an Lepidoptera resultieren auch unterschiedliche Bestäubungsmechanismen der Tiere (vgl. Proctor 1996, S. 81f). Tagfalterblumen zeichnen sich durch ihre langröhrigen Blüten aus, was sich ebenso an dem oft bis zu 40 mm tief liegenden Nektar zeigen lässt. Jedoch werden auch Stieltellerblumen von Tagfaltern besucht. Die Blütenfarben sind häufig leuchtend rot (vgl. Leins 2000, S. 219), was an der Wahrnehmung der roten Farbe im Gegensatz zu Bienen liegt (vgl. Hess 2019, S. 274), sowie blau, gelb und weiß. Nicht selten sind Blütenmale und Schaukelantheren typische Tagfalterblumen-Syndrome (vgl. Leins 2000, S. 219). Der schwache Duft wird über die untertags geöffneten Blüten ausgesendet. Zu den Tagfalterblumen zählen die Feuerlilie (*Lilium bulbiferum*), der Frühlingsenzian (*Gentiana verna*), die Heidenelke (*Dianthus deltoides*), die Tag-Lichtnelke (*Silene dioica*), das Wiesen-Schaumkraut (*Cardamine pratensis*) und viele weitere (vgl. Hess 2019, S. 274). Während Tagfalterblumen ihren Bestäubern eine Landemöglichkeit bieten, ist diese bei Nachtfalterblumen meist nicht zu finden. Oft handelt es sich dabei um sogenannte

Nachtschwärmerblumen bzw. um Bürstenblumen. Ähnlich wie bei den Tagfalterblumen liegen langröhrlige Blumen vor, bei denen der Nektar sehr tief, genauer gesagt bis zu 200 mm oder tiefer, liegt und einen besonders intensiven Duft aussendet (vgl. Leins 2000, S. 219). Als Bestäuber der Nachtfalterblumen sind vor allem die Schwärmer (Sphingidae) sowie die Eulen bzw. Eulenfalter (Noctuidae) zu nennen. Aufgrund des fehlenden Landeplatzes werden die Blüten meist im Flug besucht. Eine Ausnahme dazu stellen die morphologisch kleineren Noctuidae dar, da sie neben oder sogar auf den Blüten Platz finden, um so zum Nektar zu gelangen. Vor allem die Familie der Schwärmer verfügt über eine wichtige bestäubungsökologische Rolle. So werden etwa vom Taubenschwänzchen „in nicht ganz sieben Minuten 194 Blüten des Langspornigen Veilchens (*Viola calcarata*)“ (vgl. Hess 2019, S. 273) besucht und bestäubt. Zu den typischen Blütenfarben der Nachtfalterblumen werden hauptsächlich weiß, grün, rot und gelb gezählt. Morphologisch besonders sind ebenso die Pendelantheren vieler Schwärmerblüten, wobei die Antheren auf ihren Filamenten locker aus der Blüte hängen. In Zusammenhang mit den oft nachtaktiven Nachtfaltern finden die Anthese und die Duftaussendung zumeist nachts statt (vgl. Hess 2019, S.273). Beispiele für Nachtfalterblumen sind etwa der Kapernstrauch (*Capparis spinosa*), Arten der Nachtkerzen (*Oenothera*) (vgl. Leins 2000, S. 236), die Berg-Waldhyazinthe (*Platanthera chlorantha*), Jelängerjelieber (*Lonicera caprifolium*) sowie diverse Nelkenarten (vgl. Hess 2019, S. 273f).

5.5.6 Vogelblumen/Vogelbestäubung (Ornithophilie)

Neben den Wirbellosen können auch Wirbeltiere eine Bestäuberrolle übernehmen. Vogelblumen sind in Europa als wildwachsende und heimische Pflanzen nicht vertreten, was darauf zurückgeführt werden kann, dass die tropischen Vogelblumen ihren Bestäubern das gesamte Jahr lang eine Nahrungsgrundlage bieten müssen. Dennoch können 112 Arten der Bedecktsamer als Vogelblüten bezeichnet werden (vgl. Hess 2019, S. 274f). Patricia Willmer geht in ihrem Werk zu Blütenbiologie und Bestäubung näher auf die Bestäubung durch Vögeln ein und merkt dabei ebenso an, dass tropische und subtropische Regionen, wie Teile Australiens oder Afrikas, aber auch gewisse Regionen der USA (inklusive Alaska), Asiens und des mittleren Ostens als Lebensräume für Vogelbestäubung gelten. Während blütenbesuchende Vögel in diesen Regionen in

ungefähr 50 verschiedenen taxonomischen Gruppen auftreten können, ist nur ein Teil davon tatsächlich am Bestäubungsprozess beteiligt (vgl. Willmer 2011, S. 337):

„[...] although many of these are only occasional visitors and do more damage to flowers than they do good in transferring pollen. Many common birds do visit flowers by biting through or piercing their corollas, notably tits and warblers“ (Willmer 2011, S. 337)

Zur tatsächlichen Ornithophilie gehören etwa zehn Vogelfamilien, darunter die Kolibris, die Nektarvögel, die Honigvögel, die Honigfresser und die Brillenvögel. Der ihnen angebotene schleimig-dünflüssige Nektar hat oft einen hohen Kohlenhydratanteil, der durch bis zu 30 % Zucker ausgemacht wird, jedoch niedrig im für die Tiere notwendigen Proteinanteil. Um dies auszugleichen, nehmen die nektarfressenden Vögel oft zusätzlich noch Insekten, etwa jene, die ebenso die Blüten besuchen, zu sich. Im Vergleich zu den restlichen neun Familien der Blütebestäuber zeichnen sich Kolibris durch ihren Schwebeflug aus, wodurch ein Sitzangebot durch die Blüten vernachlässigt werden kann. Im Gegensatz dazu muss für die neun bestäubenden Vogelfamilien eine Art Sitzgelegenheit durch die Blüte beziehungsweise durch Zweige oder Blätter gegeben sein (vgl. Willmer 2011, S. 337f). Daraus folgt auch die Unterteilung der Vogelblumen in Kolibriblumen und Nicht-Kolibriblumen (vgl. Hess 2019, S. 275f). Die Anpassung der Vögel an die von ihnen bestäubten Blüten lässt sich etwa anhand der Schnabelform und der Zungenlänge und -form erkennen. Blumenvögel verfügen meist über lange, schmale Schnäbel, die je nach Art der Vogelblume, gerade oder gebogen sein können. Die Anpassungen der Zunge an den Blütenbesuch äußern sich in Form von gespaltenen, röhrigen bis rinnenförmigen Zungen, die teilweise pinselförmig ausgeprägt sein können. Hinsichtlich der Anpassungssyndrome der Blumen an die Bestäuber zeigt sich neben dem Nektar in Überfluss, die Blütenform. Diese reichen von Röhren-, Glocken-, Fahnenblumen bis zu Pinsel- oder Rachenblumen und sind meist große Blüten (vgl. Leins 2000, S. 237). Da Vögel nur ein schwach ausgeprägtes olfaktorisches System besitzen, ist der Blütenduft oft nur sehr schwach oder gänzlich fehlend ausgeprägt. In Hinblick auf den Bestäubungsvorgang, sollte angemerkt werden, dass sich die Antheren bei Kolibriblumen meist dorsal zu den Kronblättern befinden. Somit wird der Pollen an der Kopfoberfläche der Bestäuber bei der Suche nach dem Nektar abgelegt. Bei Nicht-Kolibriblumen sind die Antheren meist freistehend und hängen teilweise aus den Blüten heraus. Beim Blütenbesuch werden die Pollen, ähnlich wie bei Kolibriblumen, auf den Federn der Vögel abgelegt (vgl. Willmer 2011, S. 341, 344, 349). In Hinblick auf die Farbe sind Vogelblumen

oftmals rot bis rot-schwarz (vgl. Leins 2000, S.219), wobei Willmer anmerkt, dass es sich um keine tatsächliche Präferenz für die Farbe Rot seitens der Vögel handelt, sondern um eine erlernte Assoziation mit viel Nektar:

„[...] but from learned associations of high nectar rewards and fast handling speed with red flowers that are unvisited by other groups and therefore unusually rewarding. Hence birds will learn to visit any color equally well in an experimental situation. It may be that red is used by bird flowers specifically because it is the least likely color to attract bees [...]“ (Willmer 2011, S. 340).

Zu den typischen Kolibriblumen zählen unter anderem der Weihnachtsstern (*Euphorbia pulcherrima*), die Fuchsie (*Fuchsia magellanica*), die Schönmalve (*Abutilon striatum*), der Orangerote Stechapfel (*Datura sanguinea*), der Blaugrüne Tabak (*Nicotiana glauca*) sowie eine Reihe an Rachenblumen, unter ihnen etwa der Feuersalbei (*Salvia splendens*). Beispiele für Nicht-Kolibriblumen, die von Nektarvögeln bestäubt werden, sind etwa der chinesische Roseneibisch (*Hibiscus rosa-sinensis*), die Kaiserkrone (*Fritillaria imperialis*), die Paradiesvogelblume (*Strelitzia reginae*) oder die Aloe (*Aloe ferox*). Weitere Nicht-Kolibriblumen sind außerdem die Banksie (*Banksia menziesii*), der Eukalyptus (*Eukalyptus globulus*) oder der Zylinderputzer (*Callistemon citrinus*) (vgl. Hess 2019, S. 278f).

5.5.7 Fledermausblumen/Fledermausbestäubung (Chiropterophilie)

Obwohl Fledermausbestäubung nur in den Tropen und Subtropen sowie in den humiden Teilen der USA auftritt, hat sie dennoch eine wichtige bestäubungsökologische Bedeutung, zumal auch Fledermausblumen in heimischen bzw. mitteleuropäischen botanischen Gärten anzutreffen sind. Die Ordnung der Fledertiere (Chiroptera) kann in zwei systematische Gruppen eingeteilt werden: die Flughunde (Megachiroptera) und die Fledermäuse (Microchiroptera). Innerhalb der Megachiroptera, welche in Afrika, Südostasien sowie Australien vermehrt verbreitet sind, befinden sich sowohl fruchtfressende (Pteropinae) sowie nektarfressende (MacroGLOSSINAE) Tiere. Auch innerhalb der Microchiroptera können blütenbesuchende und sogar blütenbestäubende Fledermäuse vorgefunden werden. Diese treten häufig in den Familien Phyllostomidae und Glossophaginae auf. Bei Letzteren ist ein adaptierter Mundapparat in Form einer verlängerten Schnauze und einer längeren Zunge inklusive eines dichten Fells, in dem der

Pollen im Vergleich zu anderen Chiroptera besser haften kann. So wird der Pollen von einer Blüte zu der nächsten transportiert. Grundsätzlich kann für beide Ordnungen gesagt werden, dass die Körpergröße der blütenbesuchenden Fledertiere erheblich ist im Vergleich zu jener der insektivoren Fledertiere (vgl. Willmer 2011, S. 356f). Der Bestäubungsvorgang, der meist nachts passiert, findet oft hoch in Bäumen statt, bei dem die Tiere auf den Blüten landen, sich festkrallen und den Nektar bzw. den Pollen aus den Blüten saugen (vgl. Hess 2019, S. 270) oder in Form eines Rüttel- oder Rüttel-Klammer-Fluges (vgl. Leins 2000, S.240). Hinsichtlich der Fledermausblumen können ebenso Veränderungen erkannt werden. Sie sind meist derber und kräftiger gebaut, was mitunter durch das Festkrallen der Tiere begründet werden kann. So können auch die Blütenhüllblätter widerstandsfähiger sein, als jene von Insektenblumen. Bei den Gestalttypen handelt es sich meist um hoch in den Bäumen wachsende, freie und einfach zugängliche Glocken-, Scheiben-, Schalen- oder Bürstenblumen, die nachts aufblühen und zu dieser Zeit auch ihren intensiven, leicht säuerlich bis kohlartigen Blütenduft aussenden. Die Farben der Fledermausblumen sind meist schmutzig-gelb, weißlich oder grundsätzlich eher trübe (vgl. Hess 2019, S. 270), was auf die Farbenblindheit der Fledertiere zurückzuführen ist. Innerhalb der *Glossophaga* kann eine gewisse Sensibilität auf UV-Strahlung erkannt werden, wodurch helle Blüten in Kontrast zu einem dunklen Hintergrund wahrgenommen werden können (vgl. Willmer 2011, S. 359). Weitere Fledermausblumen-Syndrome sind die hohen Mengen an Pollen aus vielen Staubblättern sowie der zähe und energiereiche Nektar, der in Überschuss angeboten wird (vgl. Hess 2019, S. 270). Pflanzen, die in den Tropen und Subtropen von Fledermäusen bestäubt werden, sind etwa Familien wie die Bignoniaceae, die Bombacaceae oder die Lobeliaceae (vgl. Leins 2000, S. 240). Auch wird die Banane (*Musa*) oder die Agave (*Agave angustifolia*) von Fledermäusen bestäubt (vgl. Hess 2019, S. 271). In den USA gelten die Blüten von *Carnegiea* und *Lamprocarpum*, Kakteenarten, als Fledermausblumen. Es zeigt sich ebenso, dass es bei manchen Pflanzenarten Überschneidungen mit der Vogelbestäubung gibt, denn diese sind meist ähnlich gebaut, werden aber oft zu unterschiedlichen Tageszeiten besucht (vgl. Leins 2000, S. 240).

5.6 Befruchtung (Vorgang)

Eine Besonderheit der Angiospermen ist die sogenannte doppelte Befruchtung oder Syngamie, ein Prozess, der grob in zwei Bereiche eingeteilt werden kann und bei dem am Ende der Prozesse aus den vegetativen Zellen des Pollenkorns und der Eizelle ein haploider Embryo entsteht (vgl. Hess 2019, S. 38f). Da in der Schule sowie im Alltag oft Unklarheit über die Begriffe Befruchtung und Bestäubung herrscht, ist es notwendig, diese Begriffe klar voneinander zu trennen:

„Die erste ist die Bestäubung. Darunter versteht man die Übertragung des Pollens von den Staubbeuteln auf die Narbe. [...] Die zweite Etappe ist die Syngamie im eigentlichen Sinn. Das Pollenkorn, das auf die Narbe übertragen worden war, keimt zu einem Pollenschlauch aus. Er transportiert die beiden Spermazellen durch den Griffel zum Embryosack. Dort kommt es zu einer doppelten Befruchtung: Eine der Spermazellen verschmilzt mit der Eizelle zur diploiden Zygote.“ (Hess 2019, S. 38f).

Der Vorgang des Wachstums des Pollenschlauchs durch die Narbe, den Griffel und die Mikropyle in Richtung der Samenanlage ist für die Befruchtung essenziell. Denn durch die Öffnung der Samenanlagen in einer von zwei Synergiden, sogenannten Helferzellen im Embryosack im Inneren des Fruchtknotens, werden die Spermazellen entlassen. Dabei kommt es zu der Zerstörung der Synergide und der vegetativen Zelle des Pollenkorns. Eine Samenzelle erreicht und vereinigt sich mit der Eizelle (vgl. Munk 2008, S. 123). Aus der zweiten Spermazelle, die sich im Embryosack mit den Zellkernen verbindet, entsteht der sogenannte triploide Endospermkern, welcher die Grundlage für das Nährgewebe im Samen ist. Im Laufe der Befruchtung wird aus der Zygote der Embryo, der sich innerhalb eines Samens oder auch in der Frucht befindet (vgl. Hess 2019, S. 39). Die Aufgabe des Nährgewebes kann im späteren Verlauf auch durch die Keimblätter ersetzt werden. Nach einer Ruhephase ist der Samen bereit, auszukeimen.

6 Empirischer Teil – Aufbau des Fragebogens und Diskussion der Ergebnisse

6.1 Aufbau

Im Rahmen des Biologie- & Umweltkunde Studiums sowie dank meiner eigenen Unterrichtstätigkeit hat sich schon mehrmals gezeigt, welchen Mehrwert der Einbau von spielerischen Elementen in den Unterricht bringt. Wie in Kapitel 3.8 geklärt wurde, profitieren Schüler*innen durch diese Methode und zeigen somit auch oft mehr Motivation. Der für die vorliegende Masterarbeit entwickelte Fragebogen dient der quantitativen Erhebung der Rolle von Game-based Learning und Gamification aus der Sicht von unterrichtenden Lehrpersonen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf dem Einsatz im Biologieunterricht und darauf, wie diese Themen eingesetzt werden können. Der Fragebogen gliedert sich thematisch in unterschiedliche Abschnitte, um neben den demographischen Merkmalen der Befragten auch die Bekanntheit der Methoden, Nutzungserfahrungen im Unterricht sowie im Freiland geeignete Themen und Einschätzungen zum Einsatz abzufragen.

Im ersten Abschnitt werden demographische Daten erhoben. Hierzu zählen Angaben zum Geschlecht, zur Altersgruppe (18-25, 26-35, 46-45, 46-55, 56 und höher), zur Anzahl der bisher unterrichteten Jahre sowie zur Schulform. Ebenso werden auch die unterrichteten Fächer und die Schulstufen, in denen derzeit Biologie unterrichtet wird, abgefragt. Somit soll anhand des Fragebogens geklärt werden, inwiefern die Definitionen zu Game-based Learning und Gamification unter Lehrpersonen bekannt sind, welche Rolle beide Ansätze im derzeitigen Biologieunterricht dieser Lehrpersonen spielen und ob und wie (digital) Game-based Learning im (Freiland-) Unterricht eingesetzt wird.

Als abgefragte Definition für Gamification wurde eine kurze und prägnante Erklärung des Landesmedienzentrums Baden-Württemberg ausgewählt, bei der geklärt werden soll, ob Gamification ein vertrautes Konzept darstellt:

„Gamification bedeutet, Spielelemente wie Levels, Erfahrungspunkte, Abzeichen oder Ranglisten in den Lernprozess zu integrieren, um Lernende zu motivieren und ihr Engagement zu steigern.“ (LMZ BW 2020, o.S.)

Bei der Auswahl der Definitionen für den Fragebogen stand im Mittelpunkt, dass auch Personen, die noch keine Berührungspunkte mit den theoretischen Hintergründen von Gamification hatten, diese schnell nachvollziehen können. Ebenso soll durch die kürzeren Definitionen die Zeit zur Bearbeitung des Fragebogens niedrig gehalten werden. An die Definition zur Gamification anschließend soll geklärt werden, ob Elemente des Konzepts bereits im Unterricht eingesetzt wurden.

Ähnlich wie bei vorhergehenden Definition steht auch bei Game-based Learning im Zentrum, das Verständnis der Befragten mittels einer kurzen Definition sicherzustellen und zu klären, ob Game-based Learning bekannt ist:

„Es will das Lernen so verändern, dass es sich an der Lebenswelt der Heranwachsenden orientiert. Dazu nutzt Game-based Learning beliebte Spiele(-klassiker) wie etwa Minecraft. [...] Vielmehr entwirft die Lehrkraft ein Projekt, das die Lernenden mithilfe des gewählten Spiels erarbeiten und dadurch mitgestalten.“ (vgl. LMZ BW 2020, o.S.)

Neben der Frage, ob Ansätze von Game-based Learning bereits im Unterricht eingesetzt wurden, soll ebenso geklärt werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass analoge bzw. digitale Spiele im Biologieunterricht verwendet werden. Ähnlich ist auch die Frage für Augmented Reality formuliert. Nach einer kurzen Definition wird geklärt, wie wahrscheinlich ein Einsatz im Unterricht ist, unter der Voraussetzung, dass die technischen Gegebenheiten vorliegen.

Der Fragebogen enthält ebenso Fragen zum pädagogischen Einsatz von Spielen im Biologieunterricht. Es soll mithilfe von Mehrfachantworten ermittelt werden, welche Relevanz Lehrkräfte der Integration von Spielen zuweisen. Ebenso wird die Bedeutung von Spielen für die Steigerung des Interesses untersucht. Diese Fragen sollen die Einstellung der Lehrkräfte hinsichtlich der motivationssteigernden Effekte im Game-based Learning und Gamification erheben.

Ein weiterer Abschnitt des Fragebogens beschäftigt sich mit inhaltlichen Präferenzen der Lehrkräfte. Sie sollen festlegen, welche Themen der Sekundarstufe 1 aus ihrer Sicht geeignet sind, um digitale Spiele einzusetzen. Die theoretischen Kapitel zu Game-based Learning und Gamification nahelegen, dass mit zunehmendem Alter das Interesse an Spielen abnimmt. Deshalb werden die Lehrpersonen gebeten, einzuschätzen, in welchen Schulstufen sie die größte Bereitschaft der Schüler*innen für spielerische Lernaktivitäten sehen.

Im letzten Abschnitt des Fragebogens wird der Fokus auf den Spieleinsatz im Freiland gerichtet. Hierzu soll zuerst geklärt werden, wie sinnvoll Lehrkräfte den Einsatz von Spielen, Lernapps oder digitalen Tools, etwa Flora Incognita oder Actionbound, im Freilandunterricht einschätzen. Darüber hinaus wird gefragt, ob die Befragten bereits digitale Spiele oder digitale Materialien im Freilandunterricht eingesetzt haben. In Form einer offenen Frage soll ebenfalls erläutert werden, welche Art von digitalen Spielen sich besonders gut für den Biologieunterricht eignet. Als Abschluss wird um konkrete Beispiele von Spielen gebeten, die bereits im Biologieunterricht eingesetzt wurden.

6.2 Erhobene Daten und Diskussion

Der durchgeführte Fragebogen durchlief vor der tatsächlichen Erhebung einen Pretest, der von neun Teilnehmenden des Masterkolloquiums der Universität Wien ausgefüllt wurde. Auf Basis der Rückmeldungen wurden Formulierungen überarbeitet, Tippfehler behoben sowie kleinere inhaltliche Anpassungen vorgenommen, um die Verständlichkeit der Fragen zu verbessern.

Der eigentliche Befragungszeitraum der Erhebung fand vom 18. Juni 2024 bis zum 31. Juli 2024 statt. Abzüglich der Fragebögen des Pretests wurden insgesamt 42 Fragebögen ausgefüllt, wovon 34 Datensätze vollständig abgeschlossen wurden. Somit wird im weiteren Verlauf der Datenanalyse mit den 34 abgeschlossenen Datensätzen gearbeitet. Ziel dieser Analyse soll sein, deskriptive Einblicke in die Stichprobe zu gewinnen und Ergebnisse zu den Fragestellungen des Forschungsvorhabens für die vorliegende Masterarbeit zu präsentieren.

Von den 34 Teilnehmer*innen konnten Datensätze aus allen Altersgruppen erhoben werden (18 - > 56). In der vorliegenden Tabelle wird eine Übersicht über das Alter und das Geschlecht der Teilnehmenden gegeben:

Tabelle 1 Demographie der Stichprobe

Altersgruppe/Geschlecht	18-25	26-35	36-45	46-55	56 und höher	gesamt
weiblich	4	11	5	5	5	30
männlich	/	3	1	/	/	4
gesamt	4	14	6	5	5	34

Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind von den 34 befragten Personen 30 weiblich und 4 männlich. Die größte Altersgruppe unter den weiblichen Lehrkräften stellt jene der 26-35-Jährigen dar ($n = 11$). Diese Gruppe stellt mit insgesamt 14 Befragten die stärkste Kohorte der Erhebung dar. Die Altersgruppen 36-35 Jahre sowie 46-55 Jahre und 56 und höher sind mit den weiblichen Lehrkräften gleich besetzt. Lediglich drei Männer stammen aus der Altersgruppe 26-35 Jahre und ein Mann aus der Altersgruppe 36-45. Die Altersverteilung zeigt vor allem bei den Frauen eine gewisse Heterogenität, da alle angegebenen Altersgruppen vertreten sind.

Die durchschnittliche Dienstzeit der Lehrkräfte beträgt etwa 12,48 Jahre, wobei der Median bei 12 Jahren liegt. Die Spannweite reicht von lediglich einem Jahr bis hin zu 42 Jahren Unterrichtstätigkeit. Mit einer Standardabweichung von 11,84 zeigt sich eine erhebliche Streuung, was auf eine heterogene Stichprobe hinsichtlich der Berufserfahrung schließen lässt.

Hinsichtlich der unterrichtenden Schulform unterrichten 28 Personen in einer Mittelschule, fünf in einer AHS-Unterstufe und sieben weitere zusätzlich noch in einer AHS-Oberstufe. Von diesen sieben Personen sind fünf davon ebenso in einer AHS-Unterstufe tätig und zwei in einer Mittelschule. Die Ergebnisse werden in der nachstehenden Abbildung präsentiert:

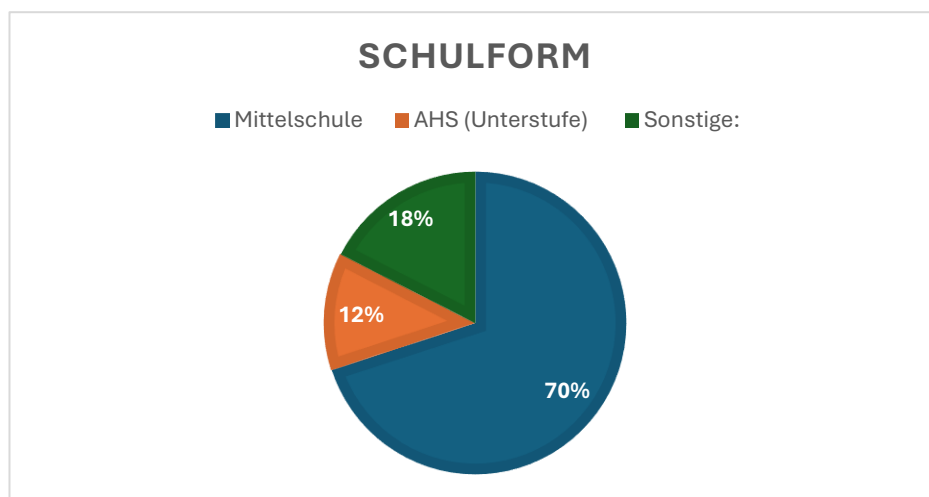


Abbildung 4 Schulformen der Teilnehmenden

Zusätzlich zur Schulform wurden ebenso die weiteren unterrichteten Fächer erhoben. Besonders häufig wurden dabei Deutsch und Mathematik genannt, jeweils $n = 9$. Auch Chemie ($n = 7$) sowie Bewegung und Sport ($n = 5$) gehören zu den häufig vertretenen Fächern. Nicht genannt wurden hingegen unter anderem Fächer wie Griechisch, Latein

oder Italienisch. Die weiteren Nennungen sind aus dem folgenden Diagramm zu entnehmen:

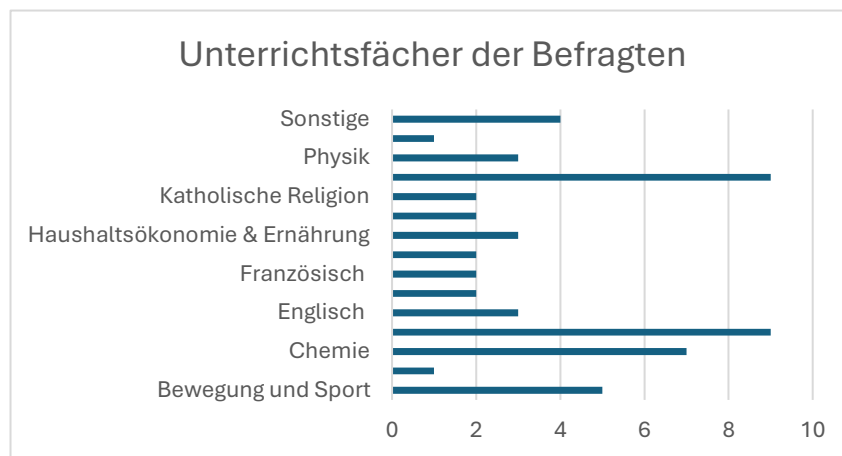


Abbildung 5 Unterrichtsfächer der Befragten

Abschließend wurde hinsichtlich der demographischen Daten erhoben, in welchen Schulstufen Biologie & Umweltbildung in der Sekundarstufe I unterrichtet wird. Diese Auswertung zeigt, dass die befragten Lehrpersonen am häufigsten in der 7. und 8. Schulstufe unterrichten ($n = 20$). Ebenso ist die 6. Schulstufe mit 19 Nennungen stark vertreten. Seltener wird hingegen die 5. Schulstufe unterrichtet ($n = 17$).

6.2.1 Auswertung der Fragen

In Form einer Entscheidungsfrage sollen die Teilnehmenden angeben, inwiefern ihnen die gegebene Definition zum Begriff „Gamification“ bekannt ist. Die Ergebnisse zeigen, dass 19 von 34 Lehrpersonen (55,8 %) angeben, mit dem Begriff vertraut zu sein. 44 % ($n = 15$) verweisen bei der folgenden Frage (F2) darauf, bereits Gamification-Elemente im Unterricht eingesetzt zu haben. Wie zuvor beschrieben, wurde für den Begriff Game-based Learning eine Definition gegeben. Dazu sollte beantwortet werden, inwiefern diese Methode bekannt ist. Die Ergebnisse zeigen, dass 18 von 34 Lehrpersonen (53 %) angeben, mit dem Begriff vertraut zu sein. Auch hier haben wenige Teilnehmer*innen Game-based Learning bereits im eigenen Unterricht eingesetzt (32 %). In der Frage F5 wurden die Teilnehmenden gebeten, einzuschätzen, wie wahrscheinlich der Einsatz von digitalen bzw. analogen Spielen im eigenen Unterricht ist. Dabei wurden vier abgestufte Antwortoptionen (unwahrscheinlich, eher unwahrscheinlich, eher wahrscheinlich, wahrscheinlich) zur Verfügung gestellt. Für digitale Spiele, also Simulationen, Lernapps oder Minecraft, zeigt sich Folgendes. 13 (38 %) der Lehrpersonen schätzen den Einsatz

als unwahrscheinlich ein. 11 Personen (32 %) geben hingegen an, dass es wahrscheinlich ist, diese Methoden in ihrem Unterricht einzusetzen. Auch hinsichtlich der analogen Spiele zeigt sich ein ähnliches Bild. Für 13 Personen (38 %) ist es unwahrscheinlich, dass sie analoge Spiele im Unterricht verwenden, während 11 Personen (32 %) diese durchaus verwenden. Die weitere Ergebnisverteilung wird im folgenden Diagramm dargestellt:

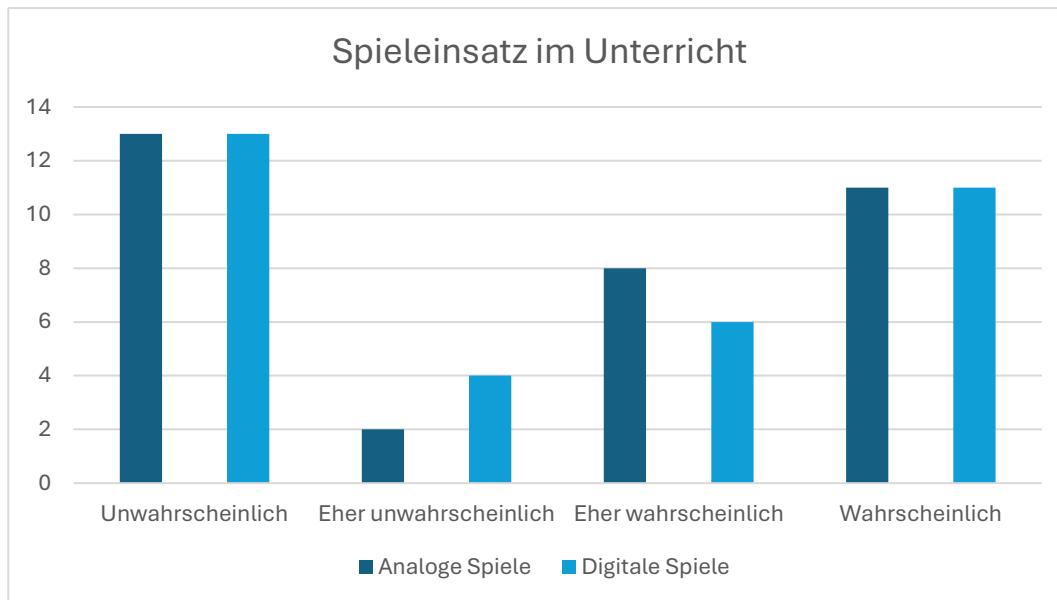


Abbildung 6 Spieleinsatz im Unterricht (F5)

Im Rahmen der Befragung wurde ebenso erhoben, wie hoch die Wahrscheinlichkeit eingeschätzt wird, Augmented Reality im eigenen Unterricht einzusetzen, vorausgesetzt, die Lehrkräfte verfügen über die notwendigen technischen Zugänge. Die Mehrheit der Lehrkräfte, etwa zwei Drittel, steht dem Einsatz von Augmented Reality prinzipiell positiv gegenüber, was sich in den Ergebnissen widerspiegelt. 13 der 34 Lehrpersonen (38 %) geben an, den Einsatz als eher wahrscheinlich einzuschätzen. Für zehn weitere Personen (29 %) ist es sogar wahrscheinlich, AR im Unterricht zu verwenden. Demgegenüber stehen sieben Personen (21 %) und vier Personen (12 %) die den Einsatz als eher unwahrscheinlich bzw. unwahrscheinlich bewerten.

Die nachfolgende Frage bezieht sich auf die subjektive Bewertung der Sinnhaftigkeit der Verwendung von digitalen und analogen Spielen im Biologieunterricht anhand einer Skala mit fünf Stufen. Für die Aussagen „Den Einsatz von digitalen Spielen im Biologieunterricht finde ich sinnvoll“ und „Den Einsatz von analogen Spielen im Biologieunterricht finde ich sinnvoll“ ergibt sich folgendes Bild:

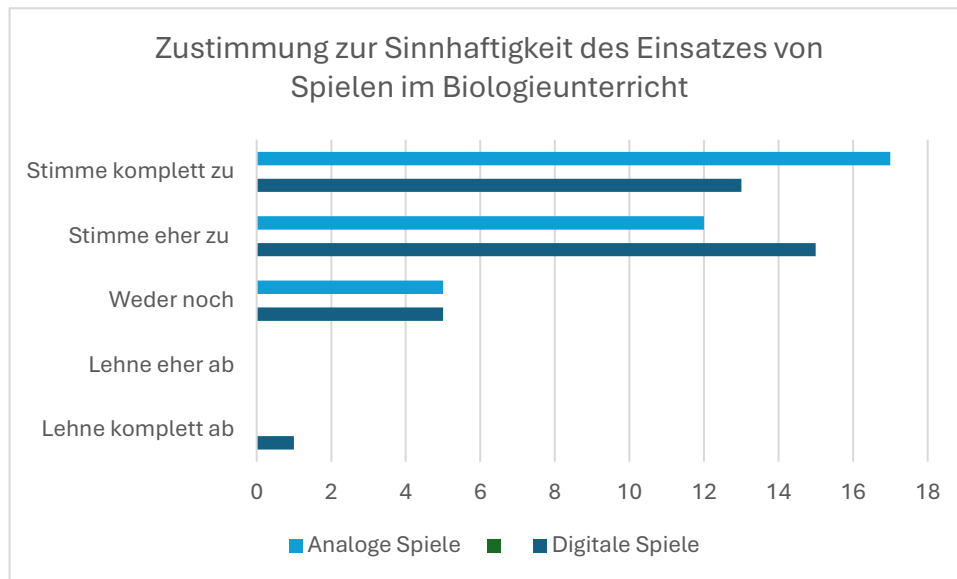


Abbildung 7 Zustimmung zur Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Spielen im Biologieunterricht

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass sowohl digitale als auch analoge Spiele von der Mehrheit als sinnvolle pädagogische Ergänzung im Unterricht angesehen werden.

Zur Einschätzung der Relevanz spielerischer Methoden im Biologie- und Umweltbildungsunterricht wurde in Frage 8 des Fragebogens erfragt, wie wichtig die Integration von Spielen ist. Die Mehrheit der Befragten beurteilt spielerische Elemente als bedeutsam. Von den 34 befragten Personen schätzen 14 Spiele im Unterricht als „eher wichtig“ ein und 16 weitere Personen geben an, diese als „wichtig“ zu beurteilen. Nur eine Person hält den Einsatz für eher wichtig sowie drei weitere stufen Spiele als unwichtig ein. Frage F9 soll erheben, wie Lehrpersonen die Wirkung spielbasierter Lernformen auf das Interesse der Schüler*innen einschätzen. Auch hier ist die Mehrheit der Lehrpersonen (76 %, n = 26) der Meinung, dass sich Spiele positiv auf das Interesse auswirken. Sieben Personen geben an, dass sie dieser Aussage eher zustimmen. Eine Person bewertet die Aussage mit „trifft weniger zu“.

Der Fragebogen deckt ebenso eine Erhebung über Themen ab, die sich besonders für den Einsatz digitaler Spiele im Biologieunterricht eignen, ab. Es wurden 19 Themen der Sekundarstufe als Auswahlmöglichkeiten bei der Mehrfacherhebung präsentiert. Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, zeigt sich ein differenziertes Bild hinsichtlich der thematischen Vorzüge der Lehrpersonen. Am häufigsten genannt wurden „Anatomie des Menschen“ (n = 26), „Organsysteme (z.B. Atmung, Herz-Kreislauf, Verdauung, Ausscheidungsorgane)“ (n = 24) und „Ernährung“ (n = 23). Das Thema „Botanik (z.B. Aufbau der Blütenpflanzen, Ordnung, Aufbau der Blüte, Pilze, Moose, Nutzpflanzen)“ wurde von 20 der 34 befragten

Lehrpersonen genannt. Im Gegensatz dazu wurde das verwandte Thema „Bestäubung und Befruchtung“ mit 13 Nennungen seltener ausgewählt. Sexualbiologie ist mit nur zehn Nennungen das am seltensten gewählte Thema.

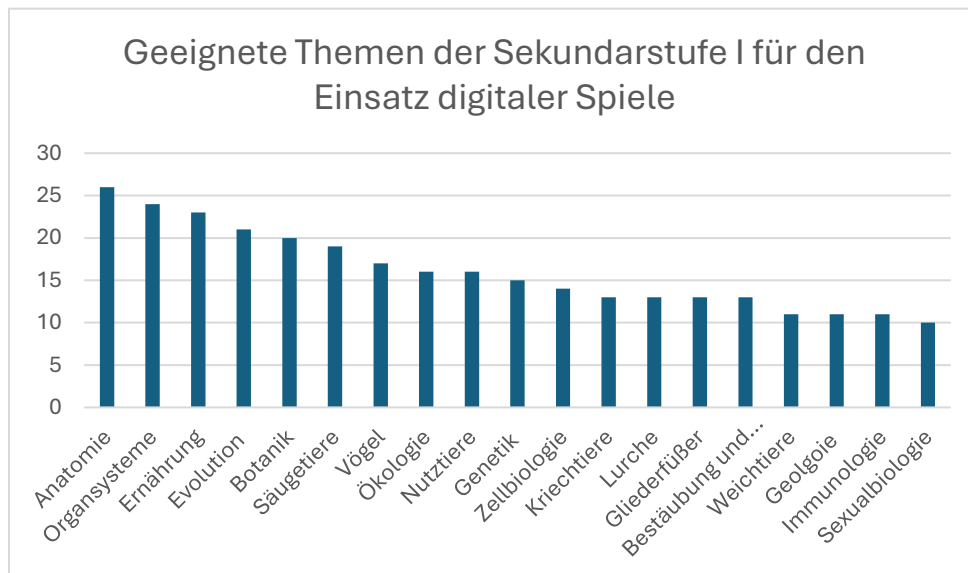


Abbildung 8 Geeignete Themen für den Einsatz digitaler Spiele

Im Anschluss an die Einschätzung inhaltlich geeigneter Themen wurden die Lehrpersonen aufgefordert einzuschätzen, in welcher Schulstufe der Sekundarstufe I Schüler*innen die größte Bereitschaft zur Teilnahme an spielerischen Lehrmethoden zeigen. Dabei kann erwähnt werden, dass die fünfte Schulstufe mit 32 Nennungen am häufigsten als besonders geeignet genannt wird. Auch die 6. Schulstufe wird von der Mehrheit der Befragten ($n = 27$) als offen für spielerisches Lernen bewertet. In der 7. und 8. Schulstufe nimmt diese Bereitschaft laut Einschätzung der Lehrpersonen eher ab (21 bzw. 22 Nennungen).

Nach der Betrachtung geeigneter Themenbereiche und der Einschätzungen der Lehrpersonen zum Thema spielerischen Lernens richtete sich der Fokus im nächsten Teil des Fragebogens auf den Freilandunterricht und darauf, inwiefern digitale Spiele in diesem eingesetzt werden können. In diesem Kontext sollte bei Frage F12 erhoben werden, wie sinnvoll die befragten Lehrpersonen den Einsatz digitaler Spiele bzw. Lernapps außerhalb des Klassenzimmers einschätzen. Die Ergebnisse zeigen ein insgesamt positives Bild. 29 der 33 befragten Lehrpersonen stimmen der Aussage zu ($n = 16$) bzw. stimmen eher zu ($n = 13$), dass digitale Spiele und Apps im Freiland sinnvoll sein können. Fünf Lehrpersonen können dieser Aussage weniger zustimmen, während

niemand sie vollständig ablehnt. In einer weiterführenden Frage wurde ermittelt, ob Lehrkräfte bereits eigene praktische Erfahrungen mit digitalen Spielen explizit im Freilandunterricht gemacht haben. Von den befragten Lehrpersonen haben 8 digitalen Lernspiele außerhalb des Klassenzimmers verwendet. Bei der Angabe konkreter Beispiele wurde siebenmal „Flora Incognita“, eine Pflanzenbestimmungsapp, genannt. Eine weitere Person hat „Actionbound“ zum Erstellen digitaler Rallyes, als eingesetzte Spielmethode verwendet. In Frage F15 sollte durch die offene Antworteingabe erhoben werden, welche digitalen Spiele als besonders geeignet für den Biologieunterricht eingeschätzt werden. 18 Personen haben keine Nennung abgegeben. Diese Antwortmöglichkeit wurde mit einem Schrägstrich gekennzeichnet. Eine weitere Antwort kann aufgrund eines offensichtlichen Tippfehlers nicht eindeutig zugeordnet werden. Die Nennungen der übrigen Lehrpersonen zeigen eine Vielfalt an genutzten Spielen. Besonders häufig wurde die App „Kahoot“ (n = 6) genannt. Ebenfalls mehrfach genannt wurde „Flora Incognita“ bzw. Bestimmungsapps im Allgemeinen. Unter den Antworten finden sich auch einige Beispiele für Simulationen, z.B. „Labster“ oder „BASF Virtual Lab“, oder AR-Spiele. Weitere themenspezifische Nennungen sind etwa Escape Games, das Umwelt-Bienen-Spiel, Erkennungsspiele, die App „Ready for Red“ zum Thema Menstruation und Pubertät, „LUMi Education“ oder das Blutgruppenspiel.

6.2.2 Diskussion der Ergebnisse

Im Zentrum dieser Untersuchung standen drei zentrale Fragen. Zum einen, inwiefern die Konzepte Gamification, Game-based Learning (GBL) und Augmented Reality (AR) unter Biologielehrpersonen der Sekundarstufe I bekannt sind. Zum anderen, welche Bedeutungen diese Methoden im Biologieunterricht einnehmen und abschließend, wie diese thematisch sowie didaktisch im (Freiland-)Unterricht realisiert werden können.

Die Ergebnisse des Fragebogens liefern differenzierte Aufschlüsse zu der Integration spielbasierter Methoden im (Biologie-)Unterricht. So zeigen die Ergebnisse zwar, dass Gamification und Game-based Learning in einem gewissen Maße unter den befragten Lehrpersonen bekannt sind, jedoch scheint dies nicht flächendeckend zu sein. Das spiegelt sich auch in den Ergebnissen zum Einsatz der Methoden im Unterricht wider, da sie nur punktuell angewandt werden. Sowohl für den Einsatz von GBL als auch für Gamification kann dies unterschiedliche Ursachen haben. Diese können technischer

Zugang, Unklarheiten des didaktischen Einsatzes, Planungsaufwand, fehlende Materialien oder Unsicherheiten sein. Allerdings wurden diese Gründe im vorliegenden Fragebogen nicht erhoben.

Diese Ergebnisse decken sich mit der Einschätzung von Ruiz et al. (2024). Eine ähnliche Ambivalenz zu den Methoden „Gamification“ und „Game-based Learning“ der Stichprobe kann auch in Frage F5 wahrgenommen werden. Wie bereits beschrieben bzw. in Abbildung 7 erkennbar, ist ein Teil der befragten Lehrkräfte offen für den Einsatz spielbasierter Elemente im Unterricht, unabhängig davon, ob dies analog oder digital passiert. Die ebenso hohe Anzahl an „unwahrscheinlich“-Antworten, besonders wenn man das digitale Format betrachtet, zeigt die Heterogenität der befragten Stichprobe in dieser Frage. In weiteren Forschungstätigkeiten wäre es in diesem Zusammenhang von Interesse zu erheben, welche Gründe die Angabe hat, dass der Einsatz digitaler Spiele im Unterricht als unwahrscheinlich angesehen wird. Neben technischen Gegebenheiten könnte man hier auf Unsicherheiten in der Umsetzung, unzureichende Kenntnisse, mangelnde Fort- oder Weiterbildungen oder fehlendes didaktisches Vertrauen vermuten. Die Frage F5 lässt darauf schließen, dass der Einsatz von Spielen stark von den individuellen und wahrscheinlich ebenso von den technischen Rahmenbedingungen abhängig ist. Interessant in diesem Zusammenhang sind jedoch die Ergebnisse zur Frage F6, in der der Einsatz von Augmented Reality im Unterricht behandelt wird. 57 % der befragten Lehrpersonen geben an, dem Einsatz von AR prinzipiell offen gegenüberzustehen. Die Ergebnisse der Frage F7 zeigen eine klare Mehrheit an Zustimmung in beiden Bereichen, wobei diese vor allem im Fall der analogen Spiele deutlich wird. Die vergleichsweise hohe Zustimmung (50 % „komplett“ und 35 % „eher“) zeigt, dass analoge Spiele als etabliert und auch sinnvoll im Unterricht gelten. Dies kann darin begründet sein, dass analoge Spiele oft zugänglich und leicht umsetzbar sind. Jedoch werden auch die digitalen Medien im Unterricht als sinnvoll angesehen. Diese positive Einstellung zu beiden Spielformen spiegelt sich ebenfalls in der Bewertung der Einbindung von Spielen im Biologieunterricht wider. Diese Einschätzungen stehen auch im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus dem Theorieteil. Ähnlich übereinstimmend ist ebenso die Einschätzung der Effekte spielbasierter Lernmethoden auf das Interesse der Schüler*innen. Wie Kerres (2018, S.404-407) vermerkt, können Schüler*innen unter der Voraussetzung, dass die Spielumgebung sinnvoll im Unterricht integriert ist, in einen

Flow kommen. Dieser kann ermöglichen höheres Interesse und Motivation zu fördern. Die hohe Zustimmung der befragten Lehrpersonen zu F9 legt nahe, dass diese theoretischen Annahmen auch in der Praxis im Schulalltag wahrgenommen werden können. Wie im Theorieteil besprochen, können auch Wang et al. (2022, S. 7-10) einen höheren Grad an Engagement im MINT-Unterricht durch den Einsatz digitaler Spiele erkennen (vgl. Wang et al. 2022, S. 7-10). Setzt man die Zustimmung der Sinnhaftigkeit von digitalen Spielen im Biologieunterricht sowie das Empfinden der Wichtigkeit des Spieleinbaus in den Biologieunterricht in Zusammenhang mit dem Alter der Lehrpersonen, lassen sich Tendenzen in den Altersgruppen nachweisen. In der am stärksten vertretenen Altersgruppe (n= 14) vermerken 93 % den Spieleinsatz als wichtig oder eher wichtig, nur eine Person nimmt eine eher kritische Haltung ein. Diese Altersgruppe weist die höchste Akzeptanz in der Stichprobe auf. Obwohl die Zustimmung in den nachfolgenden Altersgruppen leicht abnimmt, ist die Zustimmung dennoch hoch. So geben fünf der sechs Befragten in der Gruppe der 36-45-Jährigen an, die Integration von Spielen als wichtig bzw. eher wichtig einzuschätzen. Bei den 46-55-Jährigen hielten vier von fünf Lehrpersonen Spiele im Biologieunterricht für wichtig bzw. eher wichtig. In der ältesten Gruppe war diese Einschätzung die gleiche. Alle Altersgruppen dieser Stichprobe stehen der Integration von Spielen grundsätzlich offen gegenüber. Werden die Lehrpersonen jedoch danach gefragt, wie wichtig sie den Einsatz von Spielen im Biologieunterricht finden, so zeigt sich zwar ebenso eine generelle positive Grundhaltung in allen Altersgruppen, jedoch gehen hier die Antworten unter den Altersgruppen auseinander. In der stärksten Altersgruppe (26-35) stimmen zwölf von vierzehn Personen der Aussage zu, dass der Einsatz von digitalen Spielen im Biologieunterricht sinnvoll ist, vollkommen oder eher zu. In den höheren Altersgruppen (46-55 und über 56 Jahre) bleibt die Tendenz ebenso positiv, wenngleich etwas zurückhaltender. In beiden Gruppen stimmten jeweils vier von fünf Lehrpersonen der Aussage zu. Lediglich eine Person in der Altersgruppe der 46-55-Jährigen nimmt eine ablehnende Haltung ein. Grundsätzlich kann eine leichte Tendenz zu einer offeneren Haltung in den beiden jüngeren Stichproben (18-25, 26-35) wahrgenommen werden, jedoch muss bei der Interpretation auch die Größe der Teilstichproben in den unterschiedlichen Altersgruppen berücksichtigt werden. Während in der Gruppe der 26-35-Jährigen 14 Personen am Fragebogen teilgenommen haben, umfasst etwa die Gruppe der über 56-Jährigen nur fünf Personen. Somit wird die

statistische Aussagekraft im Altersvergleich eingeschränkt, weswegen ebenso keine generalisierbaren Interpretationen getätigt werden können. Einstellungen, Erfahrungen und Tendenzen der Medienerfahrung nach Alter können jedoch zur Interpretation herangezogen werden. So unterstreicht die tendenziell höhere Zustimmung jüngerer Lehrpersonen die Bedeutung technischer Erfahrungen in diesen Alterskohorten.

Einige Themen der Sekundarstufe I für digitale Spiele scheinen eine größere Beliebtheit zu genießen als andere. So ist die Sexualbiologie nach Einschätzungen der Stichprobe weniger geeignet für digitale Spiele. Diese vergleichsweise geringe Zustimmung könnte darauf hinweisen, dass das Thema Sexualität eine hohe Sensibilität benötigt. Es lässt vermuten, dass digitale Spiele in diesem Zusammenhang als unpassend empfunden werden oder auch, dass dieses Thema mehr Feingefühl oder persönliche Gesprächsführung benötigt. Jene Inhalte, die visuell durch Spiele anschaulich und erfahrbar gemacht werden, sprich Anatomie oder Organsysteme, und auch Botanik und Evolution, werden als geeignet empfunden. So können Organe oder auch der Bau des menschlichen Skeletts durch 3D-Modelle oder interaktive Körper- und Organsimulationen handlungsorientiert dargestellt werden und aus den lebensnahen Vorstellungen in fachlich fundiertes Wissen umgewandelt werden. Die digitale Darstellung von Pflanzen bzw. der Aufbau dieser kann nach Angaben der Lehrpersonen einen didaktischen Mehrwert, etwa in Form von Motivationssteigerung, bieten. Die geringe Anzahl der Nennungen bei dem Thema „Bestäubung und Befruchtung“ könnte darauf hindeuten, dass die komplexen Vorgänge im Befruchtungsprozess für eine Umsetzung mit digitalen Spielmedien als ungeeignet angesehen werden. Hinsichtlich der Bereitschaft zum Einsatz spielerischer Methoden in bestimmten Schulstufen kann eine klare Tendenz zu der 5. und 6. Schulstufe wahrgenommen werden. Wie Wang et al. (2022, S.7f) beschreiben, sind Spiele für Schüler*innen der Primarstufe am profitabelsten. Die Motivation und der Lernzuwachs nehmen hingegen laut dieser Studie in der Sekundarstufe II ab. Die Ergebnisse der vorliegenden Stichprobe decken sich somit mit der Literatur. Schüler*innen der 5. Schulstufe sind der Volksschule näher als jene der 8. Schulstufe, wodurch sich die Bereitschaft zu spielen vielleicht erklären lässt. Dies spricht für eine altersdifferenzierte Herangehensweise an die Einbindung von (digitalen) Spielen im Unterricht. Hinsichtlich des Gebrauchs von Apps bzw. digitalen Spielen im Freilandunterricht wird durch die Ergebnisse der Fragebogenanalyse verdeutlicht, dass

diese als ergänzende Elemente im Biologieunterricht angenommen werden. So stimmt die Mehrheit der Befragten zu, dass diese im Freilandunterricht sinnvoll eingesetzt werden können. Bei der Frage, welche digitale Spiele bereits im Freiland verwendet wurden, wird deutlich, dass vor allem Bestimmungssapps Einzug in den Biologieunterricht gefunden haben. Obwohl die Ergebnisse nicht eine Mehrheit der Stichprobe widerspiegeln, lässt sich trotzdem daraus schließen, dass vor allem die App *Flora Incognita* durch eine niedrigschwellige Anwendbarkeit und praxisnahe Programmierung eine gewisse Bekanntheit im schulischen Kontext hat. Vom Freilandunterricht abgesehen, wird vor allem die Quizapp *Kahoot* im Unterricht eingesetzt, was für typische Quiz- oder Wettbewerbsmethoden spricht. Grundsätzlich zeigt die Vielfalt an Nennungen, dass das Spielen im Unterricht in unterschiedlichen Themengebieten Einzug findet (Bestimmungssapps zum Thema Botanik oder Tierbestimmungen; Virtual Labs zu Themen wie Nachhaltigkeit, Mikroskopieren, Zellbiologie). Da jedoch auch knapp mehr als die Hälfte der Befragten keine Einschätzungen zu Frage F14 abgegeben hat, ist allerdings klar, dass beim Einsatz und bei der Verwendung von Spielen im Unterricht Aufholbedarf gibt. Hier wird somit ein deutliches Potenzial für die didaktische Integration von Spielen in Aus- und Weiterbildungen hervorgehoben, um den Zugang zu digitalen Lernspielen zu erleichtern.

7 Beschreibung des erstellten Lernspieles

Actionbound ist nach eigenen Angaben „eine medienpädagogische Anwendung, mit der digitale Lernreisen (sog. „Bounds) erstellt und gespielt werden können.“ (Krickel, Zwick 2019, S. 3). Die mehrfach ausgezeichnete App bietet den Nutzer*innen die Möglichkeit, Bounds mit unterschiedlichen Aufgaben (Quizfragen, Video-Aufgaben, GPS-Aufgaben und weitere) zu erledigen. Speziell Pädagog*innen können diese App mit Schüler*innen nutzen, um „interaktive Lernerlebnisse“ (Krickel, Zwick 2019, S. 3) zu erstellen. Das Einbinden der App im Unterricht an außerschulischen Lernorten soll dabei helfen, Kreativität, Medienkompetenz sowie Sozialkompetenz zu stärken. Während das digitale Lernspiel auf einem PC oder Laptop im sogenannten „Bound-Creator“ erstellt wird, wird das Spiel über Smartphones oder andere digitale Endgeräte (z.B. Tablets) mit Internetzugang ausgeführt (vgl. Krickel, Zwick 2019, S. 7f).

Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Lernspiel „Mission Bestäubung – Der verschwundene Duftcode“ ist als digitale, standortgebundene Rätseljagd mit einer Geschichte, ähnlich zu Escape Games, für den Botanischen Garten Linz konzipiert, und richtet sich vor allem an Schüler*innen der 5. und 6. Schulstufe der Sekundarstufe I. Da sowohl die bearbeitete Literatur als auch der erhobene Fragebogen zeigen, dass jüngere Schüler*innen einerseits mehr an Botanik interessiert sind und andererseits mehr Bereitschaft und Motivation an der Teilnahme von Spielen zeigen, wurde das erstellte Lernspiel explizit für diese Gruppe gestaltet. Ebenso gibt der Lehrplan der Sekundarstufe I vor allem in diesen beiden Jahrgangsstufen einen gewissen Fokus auf Botanik vor. So wird in der 1. Klasse der Sekundarstufe I die „Bestäubung und Befruchtung als Funktion der Blüte“ (RIS 2025, o.S.) und die „Vielfalt und Anpasstheit sowie Grundzüge der Systematik von Blütenpflanzen“ (RIS 2025, o.S.) stofflich behandelt. Obwohl in der 2. Klasse der Fokus mehr auf ökologischen Zusammenhänge am Beispiel des Waldes liegt, werden auch hier eine Vielzahl an Themen der Botanik behandelt. Zusätzlich erlernen Schüler*innen dieses Jahrgangs Wissen über die „Vielfalt und Anpasstheit an Land lebender wirbelloser Tiere in Körperstruktur und Verhalten“ (RIS 2025, o.S.), wozu eine Vielzahl der Bestäuber zählt (vgl. RIS 2025, o.S.). „Mission Bestäubung“ verfolgt das Ziel, spielerische Elemente mit fachlichen Inhalten der Bestäubungsökologie und Blütenmorphologie in einem lebensnahen Umfeld zu vertiefen. Der Botanische Garten

Linz, wie auch andere Botanische Gärten, ermöglicht ebenso, Bestäubungstypen, die in Österreich nicht vorkommen, an Pflanzen zu veranschaulichen.

Die Durchführung erfolgt in Kleingruppen von maximal vier Personen, wobei die Schüler*innen ihre eigenen mobilen Endgeräte (Smartphones oder Tablets) mit Internetzugang verwenden. Die App kann entweder vorab in den App-Stores heruntergeladen werden oder vor Ort.

Die Aufgaben sind in einer narrativen Geschichte eingebettet. Die Schüler*innen schlüpfen in die Rolle einer Entdeckerin bzw. eines Entdeckers, die den verlorenen „Duftcode“ durch das Lösen verschiedener Aufgaben wiederfinden müssen:

„Herzlich Willkommen zum Bound "Mission Bestäubung - Der verschwundene Duftcode". Die Pflanzenwelt im Botanischen Garten ist in Gefahr! Eine geheimnisvolle Kraft hat den Duftcode aller Pflanzen gestohlen. Ohne ihn erkennen die Tiere die Blüten, die für sie als Nahrungsquelle sehr wichtig sind und welche sie bei der Nahrungssuche bestäuben, nicht mehr. Die Aufgabe ist es, die Bestäubungspartner zu untersuchen, unterschiedliche Bestäubungsstrategien zu entschlüsseln und den richtigen Duftcode zu finden, um die Pflanzen hier im Garten zu retten.“

Hiermit soll bewirkt werden, dass die biologischen Fachinhalte in einer spielerischen Rahmung für mehr Interesse bei den Schüler*innen sorgen. Die erste Station beschäftigt sich mit der Käferbestäubung. Als Starträtsel finden sie folgenden Text und zusätzlich einen kurzen Audioclip mit Käferkrabbeln:

„Ich bin klein, schwarz und krabbele auf Blättern. Besonders stinkende Blüten mit kräftigem Duft ziehen mich an. Finde heraus, wer ich bin. Lies den Text auf der nächsten Seite und beantworte die beiden Aufgaben, um zur nächsten Station und zu deinem ersten Zahlencode zu kommen.“

Im Anschluss lesen die Teilnehmer*innen einen kurzen Informationstext (siehe Anhang) zur Käferbestäubung, um Hintergrundwissen zum Thema zu erlangen. Daraufhin wird ein Bereich im Botanischen Garten genannt, der mit Hilfe von Koordinaten, dem Gartenplan und einem Richtungspfeil in der App gefunden werden muss. Dort angekommen, wird verlangt, eine Aufgabe über die externe Website „Learning Apps“ abzuschließen. Dabei handelt es sich um eine Zuordnungsaufgabe, bei der die Käferblumen als solche identifiziert werden müssen. Ist die Aufgabe gelöst, erhalten die Schüler*innen die erste Zahl für den verlorenen Duftcode.

Da das Thema des Blütenaufbaus in der 5. Schulstufe im Biologieunterricht behandelt wird, soll die folgende Aufgabe als Wiederholung bzw. für die Schüler*innen der 6.

Schulstufe als Auffrischung des bereits gelernten Stoffes dienen. Die Station, die den Blütenaufbau behandelt, ist aus dem Grund in der Rätseljagd inkludiert, da das Wissen zu den richtigen Blütenorganen beim Thema Bestäubungsökologie unumgänglich ist. Wenn in den Infotexten von Kronblättern oder der Narbe gesprochen wird, sollen die Schüler*innen wissen, wo sich jene Organe befinden. Die Aufgabe lautet wie folgt:

„Das hat schon super geklappt! Ihr seid einen Schritt weitergekommen. Ab jetzt wird es knifflig. Kannst du dich noch erinnern, wie Blüten aufgebaut sind? Beschrifte die Pflanze korrekt und du bekommst den nächsten Tipp! Klicke auf den Link und finde die richtige Lösung“.

Dazu wird wieder ein Link zur Website „Learning Apps“ zur Verfügung gestellt. Die gegebene Abbildung einer zwittrigen Blüte muss beschriftet werden, um zum nächsten Duftcode zu gelangen.

Da auf der Bestäubung durch Bienen im schulischen Kontext oft ein starker Fokus liegt, wird die Station zu diesem Thema kurzgehalten, um Informationen zu weniger bekannten Bestäubern Raum zu bieten. Als Einstiegsimpuls gibt es neben einer kurzen Audiodatei mit Bienensummen folgenden Text:

„Was summt denn hier so? Wenn ihr in zu den Nutz- und Heilpflanzen (Bereich 12) geht, wird dieses Summen immer lauter und lauter. Was kann denn das sein? Ihr könnt auch auf Entdeckung gehen und in anderen Bereichen nach Bienen Ausschau halten. Zum Beispiel: Bauerngarten (16), Auwald (9) oder Schmuckanlagen (6).“

Als zentrale Aufgabe dieser Station steht ein Fotoauftrag, der die Schüler*innen anregen soll, aktiv nach Bestäubern, in diesem Fall Bienen, Ausschau zu halten und den Botanischen Garten forschend zu erkunden. Im Auftrag wird die Anleitung gestellt, Blüten mit Bienen zu fotografieren und ein Bild davon als Nachweis („Biene-Beweisbild“) in die App hochzuladen. Ergänzend dazu werden ein kurzer Informationstext sowie drei dazu passende Wissensfragen (Multiple-Choice, offene Antwort) abgeschlossen. Als Belohnung nach der Fertigstellung wird ein weiterer Teil des gesuchten „Duftcodes“ zur Verfügung gestellt. Im Tropenhaus wird der Fokus auf die weniger bekannte Vogelbestäubung gelegt:

„Ihr begeht euch nun in die Tropen! Hast du gewusst, dass Vögel in vielen tropischen Regenwäldern in Afrika, Asien und Australien Blüten bestäuben können? Bewege dich in das Tropenhaus und schaut euch genauer um. Macht euch auf warme und feuchte Luft gefasst – ganz wie im Regenwald!“

Im Eingangshaus (1) und im Tropenhaus findet ihr einige Pflanzen, die in freier Natur von Vögeln bestäubt werden. Vor allem Kolibris werden von diesen Blüten angezogen!“

Schwerpunkt ist hier die Bestäubung durch Kolibris. Auch hier wird zunächst Wissen mittels eines Impulstextes vermittelt, bevor eine zweiteilige Aufgabe bearbeitet wird: Einerseits werden vier Beispiele von typischen Vogelblumen präsentiert, die im Tropenhaus des Botanischen Gartens aufzufinden sind. Von diesen vier Beispielen sollen zwei gefunden werden (unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Blühzeitpunkte) und mittels eines Fotos dokumentiert werden. Andererseits soll mithilfe einer Erklärung, welche Merkmale die fotografierten Blüten besitzen, reflektiert werden, warum die Pflanzen durch Vögel bestäubt werden. Die folgende Station soll das forschend-entdeckende Lernen der Schüler*innen weitergehend fördern. Die Schüler*innen sollen gemeinsam überlegen, welchen Grund es geben könnte, dass manche Pflanzenblüten nur nachts geöffnet sind. Diese Frage wird mit einem Informationstext sowie weiteren Angaben zur Fledermausbestäubung beantwortet, bevor im Botanischen Garten nach einer bestimmten Pflanze (Königin der Nacht – *Selenicereus grandiflorus*), die exemplarisch für die Fledermausbestäubung ist, gesucht werden soll. Als abschließende Station steht die Falterbestäubung, welche mit einem zu lösenden Rebusrätsel beginnt. Darauf folgend steht ein Suchauftrag mittels GPS zum Sommerflieder (*Buddleja sp.*), dessen intensiver Duft wahrgenommen werden soll. Nach einem Lückentext zur Schmetterlingsbestäubung gelangen die Schüler*innen zum Ende des Lernspiels, bei dem sie den Zahlencode zu einem Wort lösen.

8 Fazit

Die vorliegende Masterarbeit versucht biologisch-botanische, didaktische und empirische Perspektiven zu vereinen, um so den Einsatz von (digital) Game-based Learning und Gamification im Biologieunterricht, besonders in Bezug auf die Bestäubungsbiologie, genauer zu beleuchten.

Ausgehend von einer eingehenden Literaturanalyse wurde zunächst der aktuelle Forschungsstand zu lernpsychologischen sowie biologiedidaktischen Themen, darunter fallend die Didaktische Rekonstruktion, der Conceptual Change und konstruktivistische Lehr- und Lernansätze, überblicksmäßig dargestellt. Darauf aufbauend erschien es unumgänglich, eine klare Abgrenzung der Begriffe Game-based Learning und Gamification durchzuführen. Diese umfasst nicht nur klare, abgrenzende Definitionen, sondern auch den Einsatz und die Methoden der Spieltheorien mithilfe wesentlicher Arbeiten, darunter Kerres (2018), Deterding et al. (2011) oder Prensky (2001). Während Game-based Learning auf dem Einsatz von Spielen oder Spielsequenzen in Lernsituationen basiert, integriert Gamification einzelne Spielelemente im Lernprozess. Beide Methoden eröffnen Lerngelegenheiten, die Motivation und Lernwirksamkeit steigern wollen. Hinsichtlich der Komplexität des Einsatzes im Unterricht und der jeweiligen Zielsetzung wird jedoch ein weiterer Unterschied deutlich, wobei Game-based Learning in (biologie-)didaktischer Hinsicht mehr Potenzial bietet. So können bei diesem Ansatz ebenso komplexe biologische Prozesse, wie etwa Genetik oder die Bestäubungsbiologie, dargestellt werden. Dahingegen eignet sich Gamification zur Strukturierung und Begleitung im Lernprozess.

Im biologischen Teil der Arbeit wurde detailliert auf die Blütenbiologie, inkl. Aufbau der Blüte und der Bestäubungsökologie, und die einzelnen Bestäubungssyndrome eingegangen. Dabei konnte in der Analyse gezeigt werden, dass die unterschiedlichen morphologischen Merkmale wie Blütengröße, Symmetriefform oder Röhrenlänge entscheidend für die Bestäuberspezialisierung sind. Eine ebenso zentrale Rolle ist in den Farb-, Duft- und Nektarmalen diverser Blüten zu erkennen. Als ökologische Funktionen lassen sich beispielsweise Orientierungshilfen, Partnerfindung und farbliche Anpassungen für Bestäuber nennen.

Der empirische Teil sollte mithilfe einer quantitativen Befragung in Form eines digitalen Fragebogens zeigen, wie Biologielehrpersonen der Sekundarstufe 1 mit Game-based Learning und Gamification im Biologieunterricht umgehen. Dabei konnte gezeigt werden, dass beide Ansätze zwar bekannt sind, jedoch (noch) nicht häufig zum Einsatz kommen. Spiele, egal ob digitale oder analoge, werden als motivierend eingeschätzt, sorgen aber auch gleichwohl für Unsicherheiten im Einsatz. Somit lässt sich im Rahmen des durchgeführten Fragebogens eine grundsätzliche positive Einstellung gegenüber spielbasierten Lernmethoden im Unterricht erkennen. Als besonders geeignete Themen kristallisierten sich Genetik, Anatomie oder diverse Organsysteme in der Umfrage heraus. Besonders hervorzuheben ist jedoch die Altersgruppe der 26-35-Jährigen, die die höchste Akzeptanz von Spielen im Unterricht zeigen und diese auch als wichtig oder eher wichtig einschätzen. Zudem stehen sie digitalen Lernspielen ebenso grundsätzlich offen gegenüber. Obwohl jene Zustimmung auch in den höheren Altersgruppen vertreten ist, ist eine leichte Abnahme erkennbar. Sind in den Altersgruppen von 36-45, 46-55 sowie den über 56-Jährigen ebenso positive Einschätzungen beim Einsatz von Spielen zu verzeichnen, so zeigen sich jedoch vereinzelt kritischere Einschätzungen. In der erhobenen Stichprobe ist somit eine leichte Tendenz zu erkennen. Die jüngeren Altersgruppen der Lehrpersonen stehen dem Einsatz von Spielen und Game-based-Learning-Ansätzen offener gegenüber und haben in ihrem Unterricht ebenso eher bereits Spiele eingesetzt. An dieser Stelle muss jedoch betont werden, dass die Stichprobe dieses Fragebogens nicht repräsentativ und generalisierbar auf die Gesamtheit aller österreichischer Lehrpersonen ist. Es handelt sich hier vielmehr um Tendenzaussagen und vorsichtige Interpretationen. Dennoch ist unabhängig von den Altersgruppen, keine grundsätzliche Ablehnung der spielbasierten Lernmethoden festzustellen. Ebenso wurde der Freilandunterricht von der Mehrheit der Befragten als ein geeigneter Kontext für digitale Lernspiele im Unterricht eingeschätzt.

Das entwickelte Lernspiel „Mission Bestäubung“ soll die Erkenntnisse aus der didaktischen und biologischen Literaturanalyse sowie aus dem Fragebogen exemplarisch verknüpfen. Dabei steht die Bestäubungsökologie von Pflanzen im Botanischen Garten Linz, d.h. im Rahmen eines Freilandunterrichts, im Vordergrund. Biologische Fachinhalte werden mit spielerischen Elementen verknüpft und sollen zu einer aktiven, forschend-

entdeckenden Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Bestäubern und Pflanzen führen.

Grundsätzlich haben sich während der Bearbeitung und Auseinandersetzung mit dem Thema verschiedene Punkte gezeigt, die in weiterer Folge Untersuchung und Forschung bedürfen. So ist hier eine repräsentative empirische Erhebung zum Einsatz und den Einschätzungen von Lehrkräften aus verschiedenen Altersgruppen zu (digital) Game-based Learning unerlässlich. In diesem Zusammenhang stehen weiterführend die Untersuchung von Fort- und Weiterbildungsangeboten in diesem Themenbereich sowie die Erhebung der Rahmenbedingungen von Schulen in Hinblick auf die Nutzung von digitalen, spielbasierten Lernmethoden. Im Zuge dessen stellt auch die Untersuchung der Wirkung von Game-based Learning und Gamification, sowie Lernmöglichkeiten in Hinblick auf Augmented Reality und Künstliche Intelligenz, auf Interesse, Motivation und Fachverständnis von Schüler*innen ein interessantes und relevantes Forschungsgebiet dar. Langfristig gesehen sind differenzierte Fort- und Weiterbildungsangebote an den Pädagogischen Hochschulen und Universitäten für den kompetenten Einsatz spielbasierter Lernformen wichtig. Diese vorliegende Arbeit soll somit verdeutlichen, dass (digital) Game-based Learning vor allem für den Biologieunterricht ein vielversprechender Ansatz ist, der Motivation und Fachwissen verbindet. Dessen Potenzial kann jedoch in vielen Themengebieten und Lernsettings noch weiter ausgeschöpft werden.

9 Literaturverzeichnis

- Abt, C.C., 1970. Serious Games. The Viking Press: New York.
- Anderson, T., Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? In: Educational Researcher, 41, S. 16-25.
- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H., Kattmann, U., 2004. Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 10, S. 7-28.
- Baek, Y., Touati, A., 2017. Unpacking Digital Game-Based Learning: A review of definitions, effectiveness, and opportunities. In: Y. Baek (eds.), Game-Based Learning. Theory, Strategies and Performance Outcomes, Nova Science: Hauppauge, S. 3-22.
- Barab, S., Squire, K., 2004. Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. In: J.L. Kolodner (eds.), The Journal of the Learning Sciences, vol. 13/1. Lawrence Erlbaum Ass., Mahwah, S. 1-14.
- Benesch, T., Winkler, M., 2016. Conceptual Change: Anwendungsbeispiel in der Sekundarstufe 1. In: Open Online Journal for Research and Education, 6, S. 1-7.
- Bereiter, C., 2002. Design research for sustained innovation. In: Cognitive Studies, Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society 9, S. 321-327.
- Breien, F.S., Wasson, B., 2021. Narrative categorization in digital game-based learning: Engagement, motivation and learning. In: British Journal of Educational Technology 52, S. 91-111.
- Breuer, J., 2010. Spielend lernen? Eine Bestandsaufnahme zum (Digital) Game-Based Learning. Landesanstalt für Medien NRW (41), Düsseldorf. S. 7-54.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27–43.
- Deci, E.L., Ryan, R.M., 1993. Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: Zeitschrift für Pädagogik, 39 (2), S. 223-238.
- Del-Claro, K., Torezan-Silingardi, H.M., 2021. Plant-animal interactions: source of biodiversity. Cham: Springer.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., Nacke, L., 2011. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification. In: Proceedings I 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments. S. 9-15.
- Dettner, K., Peters, W., 2010. Übersicht über die Vielfalt der Insekten. In: Dettner, K., Peters, W., Lehrbuch der Entomologie 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum. S. 753-884.

- diSessa, A. A. (2002). Why „conceptual ecology“ is a good idea. In M. Limón & L. Mason (Hrsg.), *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice* (S. 28–60). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Dörken, V.M., 2012. Morphologie und Anatomie – Blüten und Blütenstände.
<https://www.biologie.uni-konstanz.de/doerken/lehre/skripte/morphologie/bluete/>
 [1.8.2025]
- Eisner, B., Kattmann, U., Kremer, M., Langlet, J., Plappert, D., Ralle, B., 2019. Gemeinsamer Referenzrahmen für Naturwissenschaften (GeRRN). Mindeststandards für die auf Naturwissenschaften bezogene Bildung. Ein Vorschlag.
https://www.mnu.de/images/publikationen/GeRRN/MNU_GeRRN_3.pdf [12.8.2025]
- Evert, R.F., Langenfeld-Heyser, R., 2009. Esaus Pflanzenanatomie: Meristeme, Zellen und Gewebe der Pflanzen – ihre Struktur, Funktion und Entwicklung. Berlin: De Gruyter.
- Gebhard, U., 2007. Intuitive Vorstellungen bei Denk und Lernprozessen: Der Ansatz der „Alltagsphantasien“. In In: D. Krüger, H. Vogt (eds.). *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer, Berlin, S. 117-128.
- Gropengießer, H., Kattmann, U., Krüger, D., 2015. Biologiedidaktik in Übersichten. Aulis, Köln. S. 12-14.
- Gropengießer, H., Marohn, A., 2018. Schülervorstellungen und Conceptual Change. In: D. Krüger et al. (eds.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer, Berlin, S. 49-67.
- Hamari, J., Koivisto, J., Sarsa, H., 2014. Does Gamification Work? A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In: 47th Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa. S. 3025-3034.
- Hess, D., 2005. Systematische Botanik. Ulmer/UTB: Stuttgart.
- Hess, D., 2019. Die Blüte: Struktur, Funktion, Ökologie, Evolution. Stuttgart: Ulmer.
- Kremer, B.P., 2013. Blütengeheimnisse: Wie Blumen werben, locken und verführen. Berlin: Haupt Natur.
- Jacob, A., Teuteberg, F., 2017. Game-Based Learning, Serious Games, Business Games und Gamification – Lernförderliche Anwendungsszenarien, gewonnene Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen. In: S. Strahinger, C. Leyh (eds.), *Gamification und Serious Games*. Springer: Wiesbaden. S. 97-112.
- Kadereit, J.W., Körner, C., Nick, P., Sonnewald, U., 2014. Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. Berlin: Springer.
- Kalogiannakis, M., Papadakis, S., Zourmpakis, A.-I., 2021. Gamification in Science Education. A Systematic Review I Literature. In: *Education Sciences*, 11 (22). S. 1-36.

- Kattmann, U., 2005. Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? – Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (11). S. 165-174.
- Kattmann, U., 2007. Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: Krüger, D., Vogt, H. (eds.). Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Springer, Berlin, S. 93-103.
- Kerres, M., 2018. Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote. De Gruyter: Oldenburg.
- Kerres, M., Getto, B., 2019. Design Research for Educational Change: Methodologies for Exploring the Future of Learning. In: Rodgers, P. (Hrsg.), Proceedings of „Design Research for Change Symposium Design Museum London 11-12 December. <https://learninglab.unidue.de/sites/default/files/Design%20Research%20Educational%20Change-3.pdf> [9.7.2024]
- Kerres, M., 2022. Mediendidaktik. In: U. Sander, F. von Gross, K.-U. Hugger (Hrsg.), Handbuch Medienpädagogik. 2. Auflage. Springer, Wiesbaden. S. 105-114.
- Klees, G., Tillmann, A., 2015. Design-Based Research als Forschungsansatz in der Fachdidaktik Biologie. Entwicklung, Implementierung und Wirkung einer multimedialen Lernumgebung im Biologieunterricht zur Optimierung von Lernprozessen im Schülerlabor. In: Journal für Didaktik der Biowissenschaften 6, 91-110.
- Korn, O., Schulz, S.S., Hagley, B.J., 2022. Gamification: Grundlagen, Methoden und Anwendungsbeispiele. In: W. Becker, M. Metz (Hrsg.), Digitale Lernwelten – Serious Games und Gamification. Didaktik, Anwendungen und Erfahrungen in der Beruflichen Bildung. Springer, Wiesbaden. S. 43-64.
- Korn, O., Schulz, A. S., Hagley, B. J., 2017. Gamification: Grundlagen, Methoden und Anwendungsbeispiele. In: W. Becker, M. Metz (Hrsg.), Digitale Lernwelten – Serious Games und Gamification. Didaktik, Anwendungen und Erfahrungen in der Beruflichen Bildung. Springer, Wiesbaden. S.43-64.
- Krickel, C., Zwick, S., 2019. Actionbound Edu-Guide. Ein Wegweiser zum pädagogischen Einsatz von Actionbound. Berlin: Selbstverlag. <https://content.actionbound.com/upload/Actionbound-EDU-GUIDE.pdf> [7.8.2025]
- Krüger, D., 2007. *Die Conceptual Change-Theorie*. In: D. Krüger und H. Vogt (Hrsg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranten. Springer, Berlin. S. 81-92.
- Lampert, P., Pany, P., Scheuch, M., Heidinger, C., Kiehn, M., Kapelari, S., 2018. „Mehr als nur Bestäubung“ – Schülervorstellungen zur Bestäubungsbiologie und deren Implikationen für den Unterricht. In: Zeitschrift für Didaktik der Biologie – Biologie Lehren und Lernen 22, S. 63-79.

- Lampert, P., Scheuch, M., Pany, P., Müllner, B., Kiehn, M., 2019. Understanding students' conceptions of plant reproduction to better teach plant biology in schools. In: Plants, People, Planet 1. S. 248-260.
- Landesmedienzentrum Baden-Württemberg (LMZ), 2020. Was bedeutet Gamification und Game-based Learning?
<https://www.lmz-bw.de/medienbildung/themen-von-f-bis-z/game-based-learning/gamification-und-game-based-learning-eine-begriffsdefinition> [25.7.2025]
- Leins, P., 2000. Blüte und Frucht: Aspekte der Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie. Stuttgart: Schweizerbart.
- Maskeliunas, R., Kulikajevs, A., Blazauskas, T., Damasevicius, R., Swacha, J., 2020. An Interactive Serious Mobile Game for Supporting the Learning of Programming in JavaScript in the Context of Eco-Friendly City Management. In: Computers 10, S. 81-98.
- Michener, C.D., 2007. The bees of the world (2. Auflage). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Munk, K., 2008. Taschenlehrbuch Biologie Botanik. Thieme: Stuttgart.
- Ollerton, J., 2021. Pollinators & pollination: nature and society. Exeter: Pelagic Publishing.
- Plass, J.L., Homer, B.D., Mayer, R.E., Kinzer, C.K., 2020. Theoretical foundations of game-based learning and playful learning. In: J.L. Plass, R.E. Mayer, B.D. Homer (eds.), Handbook of game-based learning. MIT Press, Cambridge, S. 17-34.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, D., Gertzog, W., 1982. Accomodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. In: Science Education 66, S. 211-227.
- Prensky, M., 2001. Digital game-based learning. Paragon House: St. Paul.
- Proctor, M.C.F., Yeo, P.F., Lack, A., 1996. The natural history of pollination. Portland: Timber Press.
- Rechtsinformationssystem des Bundes (RIS), 2025. Lehrpläne der Mittelschulen Anl. 1, tagesaktuelle Fassung.
<https://www.ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007850&Artikel=&Paragraf=&Anlage=1&Uebergangsrecht=> [7.8.2025]
- Reinmann, G, 2005. Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft 33, 52-69.
- Ricker, K.-M., 2022. Mit App auf Expedition in die heimische Natur. Mit Apps spielerisch das Interesse an Pflanzen und Bienen wecken. In: Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht 5-10 (37). S. 6-9.

- Riemeier, T., 2007. Moderater Konstruktivismus. In: D. Krüger und H. Vogt (Hrsg.), Theorien in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranten. Springer, Berlin. S. 69-80.
- Ruiz, J.J.R., Sanchez, A.D.V., Figueredo, O.R.B., 2024. Impact of gamification on school engagement: a systematic review. In: Frontiers in Education (9). S. 1-10.
- Sailer, M., Homner, L., 2020. The Gamification of Learning: a Meta-analysis. In: Educational Psychology Review, 32. S. 77-112.
- Salen, T.K., Zimmermann, E., 2004. Rules of play: game design fundamentals. MIT Press: Cambridge.
- Schimpf, F., 2022. Info: Die App beeactive. In: Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht 5-10 (37). S. 8.
- Schrader, C., 2023. Serious Games und Game-Based Learning. In: O. Zawacki-Richter, I. Jung (eds.), Handbook of Open, Distance and Digital Education. Springer, Singapur, S. 1255-1268.
- Scott, E., Wenderoth, M., Doherty, J., 2020. Design-Based Research: A Methodology to Extend and Enrich Biology Education Research. In: CBE – Life Sciences Education 19, S. 1-12.
- Seifert, G., 2010. Körpergliederung. In: Dettner, K., Peters, W., Lehrbuch der Entomologie 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum. S. 47-72.
- Simpson, S.J., 2013. Mouthparts and feeding. In: Chapman, R.F., The insects: structure and function (5. Auflage). Cambridge: Cambridge University Press.
- Stützel, T., 2021. Botanische Bestimmungsübungen: praktische Einführung in die Pflanzenbestimmung. Ulmer: Stuttgart.
- Tuah, N.M., Yoag, A., Ahmedy, F., 2021. MyDiabetes – The Gamified Application for Diabetes Self-Management and Care. In: Computers 10, S. 53-67.
- Unicef, 1989. Konvention über die Rechte des Kindes. <https://headless-live.unicef.de/caas/v1/media/194402/data/3828b8c72fa8129171290d21f3de9c37> [12.8.2025]
- Vosniadou, S., 2007. Conceptual Change and Education. In: Human Development. S. 47-54.
- Wang, L.H., Chen, B., Hwang, G.J., Guan, J.Q., Wang, Y.Q., 2022. Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: a meta-analysis. In: International Journal of STEM Education 9, S. 1-13.
- Weitzel, H., Gropengießer, H., 2009. Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung: Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangeboten machen kann. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 15, S. 287-305.
- Zabel, J. Gropengießer, H., 2011. Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? In: Journal of Biological Education 45, S. 143-149.

10 Zusammenfassung

Der Einsatz spielbasierter Lernformen wie Game-based Learning oder Gamification hat im schulischen Kontext, in Anbetracht der zunehmenden Digitalisierung im Unterricht, an Bedeutung gewonnen. Die Begriffe *Game-based Learning* und *Gamification* werden in fachdidaktischen Diskussionen häufig unscharf oder synonym verwendet. Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, beide Ansätze theoretisch abzugrenzen, ihre didaktischen Implikationen für den Biologieunterricht herauszuarbeiten und ihr Potenzial am Beispiel der Bestäubungsökologie im Freiland zu untersuchen.

Die Arbeit basiert auf einer eingehenden, umfangreichen Literaturrecherche zu lerntheoretischen Grundlagen sowie auf biologischen Fachinhalten zur Blütenbiologie und Bestäubungsökologie. Ergänzend dazu wurde eine empirische Befragung von Biologielehrer*innen der Sekundarstufe 1 durchgeführt, um deren Einschätzungen, Erfahrungen und Einstellungen zum Einsatz von Game-based Learning und Gamification im Biologieunterricht zu erfassen. Diese Ergebnisse wurden deskriptiv-statistisch ausgewertet. Sie zeigen eine grundsätzliche positive Haltung gegenüber spielbasierten Lernformen in allen Altersgruppen der Stichprobe. Die jüngeren Lehrkräfte zeigen eine tendenziell höhere Offenheit und eine höhere Einschätzung der Wichtigkeit von Spielen im Unterricht.

Auf Basis der theoretischen und empirischen Erkenntnisse wurde das digitale Lernspiel „Mission Bestäubung“ mithilfe der App *Actionbound* im Botanischen Garten Linz erstellt. Die Arbeit verdeutlicht, dass spielbasierte Lernformen ein hohes Potenzial aufweisen, biologische Fachinhalte altersgerecht und motivationsfördernd anschaulich vermitteln zu können, vor allem im Freilandunterricht.

11 Abstract

Game-based learning and Gamification have gained increasing relevance in educational contexts, particularly due to the growing integration of digital media in schools. At the same time, *game-based learning* and *gamification* are often used inconsistently or synonymously in educational research. The aim of this master's thesis is to clearly distinguish between these two approaches, to analyze their didactic implications for biology education and to explore their application in the context of pollination ecology within outdoor learning environments.

This study is based on an extensive literature review addressing learning theories as well as biological foundations of flower morphology and pollination ecology. In addition, an empirical survey was conducted among lower secondary biology teachers to investigate their attitudes, experiences and evaluations regarding game-based learning and gamification in biology lessons. The data were analyzed using descriptive statistical methods and show an overall positive attitude towards the use of game-based learning methods across all age groups. The younger teachers indicate slightly higher levels of acceptance and perceived relevance. Based on the theoretical and empirical findings, the digital learning game Mission Bestäubung was developed using the app Actionbound for use in the Botanical Garden of Linz.

The findings of this thesis suggest that game-based learning methods offer significant potential for furthering biology education and fostering motivation and understanding, particularly in outdoor learning settings.

Danksagung

An dieser Stelle darf ich mich glücklich schätzen, dass mich zahlreiche Personen mit unendlicher Motivation, tatkräftiger Unterstützung und guten Rat auf meinem Weg zu meinem Abschluss begleitet haben.

Zuerst möchte ich mich bei Dr. Michael Kiehn bedanken. Sie haben mich nicht nur beim Schreiben meiner Bachelor- und Masterarbeit betreut und somit zahlreiche meiner Fragen mit viel Geduld und Verständnis beantwortet, sondern mein Interesse und meine Leidenschaft zur Botanik geweckt. Dank Ihnen habe ich eine besondere Wertschätzung in der Pflanzenwissenschaft, Vielfalt und Weitergabe dieses Wissens gefunden. Ihre fachliche Expertise, Ihre nützlichen Ratschläge und Hinweise sowie Ihre wertvolle Korrektur haben mir dabei geholfen, diese Arbeit fertigzustellen.

Ein herzliches Dankeschön richte ich ebenso an Thomas Schiefecker des Botanischen Gartens Linz, ohne dessen Unterstützung die Erstellung meines didaktischen Konzeptes nicht möglich gewesen wäre.

Bei meinen Studienkolleginnen Viktoria und Irene, die ich im Laufe des ersten Studienjahres zuerst als Kommilitoninnen kennengelernt habe und nun Weggefährtinnen und Freundinnen nennen darf. Dank euch wurden anstrengende Zeiten des Studiums und die vielen Stunden in Seminaren immer leichter und mithilfe eurer Motivation wurden gemeinsame Leiden machbar.

Bereits seit meiner Kindheit, aber besonders seit meinen Schulzeiten, steht mir meine Schwester als Richtungsweiserin mit klarem Durchblick zur Seite. Ohne dich wären viele meiner Meilensteine nicht möglich gewesen sein. Bei Martin, Eva, Bernhard, Johanna und Georg, die ich meine Familie nennen darf, möchte ich mich für ihre Unterstützung und Ermutigung bedanken. Ein Dankeschön geht ebenso an meine Freundinnen. Eure Gespräche und offenen Ohren weiß ich stets zu schätzen.

Weiters möchte ich mich bei meinen Arbeitskolleg*innen bedanken. Ich lerne täglich im Schulalltag so viel von euch und ihr macht mich durch eure Ratschläge zu einer besseren Lehrperson!

Abschließend möchte ich mich bei meinem Partner Matthias bedanken. In dir habe ich Motivation, Kraft und Gewissheit gefunden. Es bedeutet mir sehr viel, dich auf allen Wegen und Lebenslagen an meiner Seite zu wissen.

Anhang

Fragebogen

Liebe Teilnehmerin, Lieber Teilnehmer!

Vielen Dank, dass Sie sich für das Ausfüllen meiner Umfrage Zeit nehmen. Um alle Fragen vollständig zu beantworten, sollten 19 Minuten ausreichen.

Im Rahmen meiner Masterarbeit an der Universität Wien untersuche ich den Einsatz von Spielen im Biologieunterricht im Zusammenhang mit Gamification des Lernprozesses. Ihre Teilnahme an dieser Umfrage hilft mir dabei, relevante Erkenntnisse für meine Abschlussarbeit zu gewinnen.

Für die Teilnahme sollten folgende Voraussetzungen gegeben sein: Sie sollten an einer österreichischen Mittelschule oder AHS (Unterstufe) Biologie & Umweltbildung unterrichten.

Ihre Antworten werden vertraulich behandelt und Ihre Anonymität ist vollständig gewährleistet.

Ich bedanke mich bereits jetzt für Ihre Teilnahme!

Laura Landl

1. Welchem Geschlecht fühlen Sie sich zugehörig?

[Bitte auswählen] ▾

2. In welcher Altersgruppe befinden Sie sich?

[Bitte auswählen] ▾

3. Wie lange unterrichten Sie bereits? Tragen Sie die Anzahl Ihrer Dienstjahre in ganzen Zahlen ein.

4. In welcher Schulform unterrichten Sie?

☐ Mittelschule

☐ AHS (Unterstufe)

☐ Sonstige:

5. Welche Fächer, neben Biologie & Umweltbildung, unterrichten Sie? Mehrfachauswahl möglich!

- ☐ Bewegung & Sport
- ☐ Bosnisch/Kroatisch/Serbisch
- ☐ Chemie
- ☐ Darstellende Geometrie
- ☐ Deutsch
- ☐ Englisch
- ☐ Ethik
- ☐ Evangelische Religion
- ☐ Französisch
- ☐ Geographie & Wirtschaftliche Bildung
- ☐ Griechisch
- ☐ Haushaltsökonomie & Ernährung
- ☐ Informatik
- ☐ Italienisch
- ☐ Katholische Religion
- ☐ Latein
- ☐ Mathematik
- ☐ Physik
- ☐ Polnisch
- ☐ Russisch
- ☐ Slowakisch
- ☐ Slowenisch
- ☐ Spanisch
- ☐ Tschechisch
- ☐ Ungarisch
- ☐ Sonstige

6. In welchen Schulstufen unterrichten Sie derzeit Biologie und Umweltbildung?

- ☐ 5. Schulstufe
- ☐ 6. Schulstufe
- ☐ 7. Schulstufe
- ☐ 8. Schulstufe

7. Eine Definition für Gamification lautet wie folgt:

„Gamification bedeutet, Spielelemente wie zum Beispiel Levels oder Experience Points in den Lernalltag einzubauen, um Lernende durch Belohnungen zum erwarteten Verhalten zu motivieren“ (vgl. LMZ BW www.lmz-bw.de/medienbildung/themen-von-f-bis-z/game-based-learning/gamification-und-game-based-learning-eine-begriffsdefinition/)

Ist Ihnen Gamification nach dieser Definition vertraut?

- ☐ Ja, ist mir vertraut.
- ☐ Nein, ist mir nicht vertraut.

8. Haben Sie bereits Elemente der Gamification im Unterricht eingesetzt?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

9. Eine Definition von Game-based Learning lautet wie folgt:

„Es will das Lernen so verändern, dass es sich an der Lebenswelt der Heranwachsenden orientiert. Dazu nutzt Game-based Learning beliebte Spiele(-klassiker) wie etwa Minecraft. [...] Vielmehr entwirft die Lehrkraft ein Projekt, das die Lernenden mithilfe des gewählten Spiels erarbeiten und dadurch mitgestalten.“ (vgl. LMZ BW www.lmz-bw.de/medienbildung/themen-von-f-bis-z/game-based-learning/gamification-und-game-based-learning-eine-begriffsdefinition/)

Ist Ihnen Game-based Learning nach dieser Definition vertraut?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

10. Haben Sie bereits Elemente des Game-based Learnings im Unterricht eingesetzt?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

11. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie folgende Spielarten in Ihrem Unterricht einsetzen?

1= unwahrscheinlich
5 = wahrscheinlich

	Unwahrscheinlich	Eher unwahrscheinlich	Eher wahrscheinlich	Wahrscheinlich
Digitale Spiele (Simulationen, Lernapps, Minecraft)	☐	☐	☐	☐
Analoge Spiele (Memory, Domino, Puzzles)	☐	☐	☐	☐

12. „Augmented Reality (AR) beschreibt [...] eine Überlagerung der realen Umwelt durch computergenerierte/-simulierte Einblendungen. Anders als die vollständig simulierte Virtual Reality bildet AR eine Erweiterung der natürlichen Perspektive.“ (vgl. Kind et al., 2019, S. 20).

Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie in Ihrem Unterricht Augmented Reality einsetzen würden, wenn Sie den Zugang dazu hätten?

- ☐ Unwahrscheinlich
- ☐ Eher unwahrscheinlich
- ☐ Eher wahrscheinlich
- ☐ Wahrscheinlich

☐ Weiß ich nicht

6. In welchen Schulstufen unterrichten Sie derzeit Biologie und Umweltbildung?

- ☐ 5. Schulstufe
- ☐ 6. Schulstufe
- ☐ 7. Schulstufe
- ☐ 8. Schulstufe

7. Eine Definition für Gamification lautet wie folgt:

„Gamification bedeutet, Spielelemente wie zum Beispiel Levels oder Experience Points in den Lernalltag einzubauen, um Lernende durch Belohnungen zum erwarteten Verhalten zu motivieren“ (vgl. LMZ BW www.lmz-bw.de/medienbildung/themen-von-f-bis-z/game-based-learning/gamification-und-game-based-learning-eine-begriffsdefinition/)

Ist Ihnen Gamification nach dieser Definition vertraut?

- ☐ Ja, ist mir vertraut.
- ☐ Nein, ist mir nicht vertraut.

8. Haben Sie bereits Elemente der Gamification im Unterricht eingesetzt?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

9. Eine Definition von Game-based Learning lautet wie folgt:

„Es will das Lernen so verändern, dass es sich an der Lebenswelt der Heranwachsenden orientiert. Dazu nutzt Game-based Learning beliebte Spiele(-klassiker) wie etwa Minecraft. [...] Vielmehr entwirft die Lehrkraft ein Projekt, das die Lernenden mithilfe des gewählten Spiels erarbeiten und dadurch mitgestalten.“ (vgl. LMZ BW www.lmz-bw.de/medienbildung/themen-von-f-bis-z/game-based-learning/gamification-und-game-based-learning-eine-begriffsdefinition/)

Ist Ihnen Game-based Learning nach dieser Definition vertraut?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

10. Haben Sie bereits Elemente des Game-based Learnings im Unterricht eingesetzt?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

11. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie folgende Spielarten in Ihrem Unterricht einsetzen?

1= unwahrscheinlich
5 = wahrscheinlich

	Unwahrscheinlich	Eher unwahrscheinlich	Eher wahrscheinlich	Wahrscheinlich
Digitale Spiele (Simulationen, Lernapps, Minecraft)	☐	☐	☐	☐
Analoge Spiele (Memory, Domino, Puzzles)	☐	☐	☐	☐

12. „Augmented Reality (AR) beschreibt [...] eine Überlagerung der realen Umwelt durch computergenerierte/-simulierte Einblendungen. Anders als die vollständig simulierte Virtual Reality bildet AR eine Erweiterung der natürlichen Perspektive.“ (vgl. Kind et al., 2019, S. 20).

Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie in Ihrem Unterricht Augmented Reality einsetzen würden, wenn Sie den Zugang dazu hätten?

- ☐ Unwahrscheinlich
- ☐ Eher unwahrscheinlich
- ☐ Eher wahrscheinlich
- ☐ Wahrscheinlich

☐ Weiß ich nicht

13. Bitte geben Sie an, wie stark sie folgenden Aussagen zustimmen.

Den Einsatz von digitalen Spielen im Biologieunterricht finde ich sinnvoll.

Lehne komplett ab	Lehne eher ab	weder noch	Stimme eher zu	Stimme komplett zu
-------------------	---------------	------------	----------------	--------------------

Den Einsatz von analogen Spielen im Biologieunterricht finde ich sinnvoll.

Lehne komplett ab	Lehne eher ab	weder noch	Stimme eher zu	Stimme komplett zu
-------------------	---------------	------------	----------------	--------------------

14. Wie wichtig ist Ihrer Meinung nach die Integration von Spielen (analog und digital) im Biologie- und Umweltbildungsunterricht?

☐	☐	☐	☐	☐
Unwichtig	Eher unwichtig	Eher wichtig	Wichtig	Keine Angabe

15. Wie sehr stimmen Sie folgender Aussage zu?

Die Integration von Spielen (analog oder digital) kann dabei helfen, das Interesse der Schüler*innen zu steigern.

☐	☐	☐	☐
Trifft nicht zu	Trifft weniger zu	Trifft eher zu	Trifft zu

16. Welche der folgenden Themen der Sekundarstufe 1 eignen sich besonders für den Einsatz von digitalen Spielen im Unterricht?

- ☐ Anatomie des Menschen
- ☐ Sexualbiologie
- ☐ Ernährung
- ☐ Organsysteme (z.B. Atmung, Herz-Kreislauf, Verdauung, Ausscheidungsorgane)
- ☐ Säugetiere
- ☐ Vögel
- ☐ Kriechtiere
- ☐ Lurche
- ☐ Weichtiere
- ☐ Gliederfüßer
- ☐ Zellbiologie
- ☐ Botanik (z.B. Aufbau der Blütenpflanzen, Ordnung, Aufbau der Blüte, Pilze, Moose, Nutzpflanzen)
- ☐ Bestäubung und Befruchtung
- ☐ Ökologie und unterschiedliche Ökosysteme (z.B. Boden, Wiese, Meer, Wald, Gewässer)
- ☐ Evolution
- ☐ Geologie
- ☐ Genetik
- ☐ Nutztiere
- ☐ Immunologie

17. In welchen Schulstufen haben Schüler*innen Ihrer Meinung nach die größte Bereitschaft zur Teilnahme an spielerischen Lernaktivitäten?

- ☐ 5. Schulstufe
- ☐ 6. Schulstufe
- ☐ 7. Schulstufe
- ☐ 8. Schulstufe

18. Wie sehr stimmen Sie folgender Aussage zu?

Der Einsatz von digitalen Spielen bzw. Lernapps (z.B. Flora Incognita, iNaturalist, Actionbound) ist im Freilandunterricht in Biologie sinnvoll.

- ☐ Trifft nicht zu
- ☐ Trifft weniger zu
- ☐ Trifft eher zu
- ☐ Trifft zu

19. Haben Sie bereits digitale Spiele im Freiland eingesetzt?

- ☐ Nein
- ☐ Wenn JA, bitte im Textfeld Beispiele nennen

20. Falls Sie bereits digitale Spiele eingesetzt haben: Welche Art von digitalen Spielen finden Sie besonders geeignet für den Biologie- und Umweltbildungsunterricht?

Bitte setzen sie ein /, wenn Sie noch keine Erfahrung damit haben.

21. Falls Sie bereits digitale Spiele verwendet haben: Welche Spiele können Sie als Beispiele für den Einsatz im Unterricht nennen?

Bitte setzen sie ein /, wenn Sie noch keine Erfahrung damit haben.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wenn Sie Fragen haben oder an den Ergebnissen dieser Umfrage interessiert sind, zögern Sie nicht, mich per E-Mail (a11774481@unet.univie.ac.at) zu kontaktieren.

Freundliche Grüße

Laura Landl

Name: Laura Landl
Matrikelnummer: 11774481

Unterrichtsplanung Teil 1

Schüler*innenvorstellungen^o und -
interessen[^]

- Blüten sind nur tagsüber geöffnet.
- Samenausbreitung und Bestäubung bezeichnet die gleichen Vorgänge.
- Bestäubung tritt nur als Nebeneffekt des Blütenbesuchs auf
- Pflanzen werden hauptsächlich von Bienen bestäubt

Ausformulierung der Kompetenzen laut
Kompetenzmodell^o

W3: Schüler*innen eignen sich Wissen zu diversen Bestäubungsstrategien durch fachliche Informationen an. Diese können im Anschluss benannt werden.
W5: Schüler*innen können unterschiedlich Pflanzen identifizieren und diese der zugehörigen Bestäubungsstrategie zuordnen.
E2: Schüler*innen können Vermutungen zu Phänomenen in der Natur aufstellen.

Basiskonzepte (Core ideas)

Struktur und Funktion
Information und Kommunikation
Reproduktion
Variabilität und Anpasstheit

Evaluierung/Diagnostik der
Lernergebnisse[^]

- Quiz- und Wissensfragen nach Wissensvermittlung
- Beschriftungs- und Zuordnungsaufgaben
- Suchaufgaben mittels Fotonachweisen

Anwendungsbereich/Lerninhalt

Bestäubung und Befruchtung als
Funktion der Blüte
Vielfalt und Anpasstheit sowie
Grundzüge der Systematik von
Blütenpflanzen
Geschlechtliche Vermehrung von
Pflanzen

Operationalisierte Lernziele

Unter anderem:

- Beschrifte den Aufbau einer Blüte.
- Analysiere verschiedene Bestäubungsstrategien und vergleiche deren Merkmale.
- Argumentiere, warum weiche Blüten für eine bestimmte Bestäubungsstrategie geeignet ist.

* Siehe u.a. Kattmann (2017): Biologie unterrichten mit Alltagsvorstellungen; Hammann, et. al. (2014): Schülervorstellungen im Biologieunterricht
^o Siehe Lehrplan Sek I 2020 (Veröffentlichung 2023, alt: Lehrstoff), Lehrplan Sek II 2017
[^] Siehe u.a. Keogh, Naylor (): Active Assessment for Science: Thinking, Learning and Assessment in Science

„Mission Bestäubung“

MISSION BESTÄUBUNG

 Gruppen-Bound von laurala01

USER-BEWERTUNG

☆☆☆☆☆

 Gesamt

☆☆☆☆☆

 Spaß

☆☆☆☆☆

 Abwechslung

☆☆☆☆☆

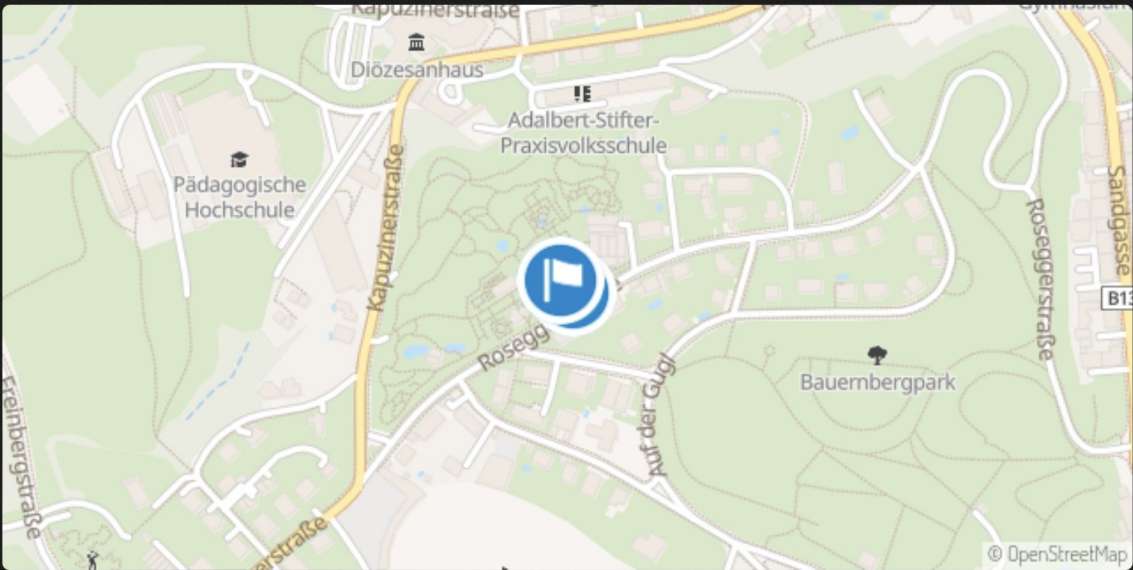
 Interessante Orte

☆☆☆☆☆

 Schwierigkeit

☆☆☆☆☆

 Lehrreich



Start

Bound herunterladen



TESTMODUS

Herzlich Willkommen zum Bound "Mission Bestäubung - Der verschwundene Duftcode"

Die Pflanzenwelt im Botanischen Garten ist in Gefahr! Eine geheimnisvolle Kraft hat den Duftcode aller Pflanzen gestohlen. Ohne ihn finden die Tiere die Blüten, die sie bestäuben sollen, nicht mehr. Die Aufgabe ist es, die Bestäubungspartner zu untersuchen, unterschiedliche Bestäubungsstrategien zu entschlüsseln und den richtigen Duftcode zu finden, um die Pflanzen hier im Garten zu retten.

Weiter

Ich bin klein und krabbe auf Blättern. Ich liebe stinkende Blüten mit kräftigem Duft. Finde heraus, wer ich bin. Lies den Text auf der nächsten Seite und beantworte die beiden Aufgaben, um zur nächsten Station und zu deinem ersten Zahlencode zu kommen.



Weiter



TESTMODUS

Die ältesten Blütenfans der Welt – Käfer

Stell dir das vor: Vor vielen Millionen Jahren, lange bevor Bienen die berühmten Blütenbestäuber waren, besuchten Blüten. Manche Wissenschaftler nennen sie sogar die ersten „Pollen-Lieferanten“ der Erdgeschichte.

Wie funktioniert denn das? Käfer krabbeln von Blüte zu Blüte, fressen dort Pollen oder den süßen Nektar und verteilen dabei den Blütenstaub. Mundwerkzeuge helfen Käfern und anderen Insekten dabei, Nahrung aufzunehmen. Sie unterscheiden sich je nach Ernährungsweise der jeweiligen Insektenart. Bei Käfern sind sie kurz und perfekt zum Beißen aufgebaut. Da Käfer keinen langen Rüssel haben, trifft man sie oft auf Blüten, bei denen der Pollen oder der Nektar einfach zu erreichen ist. Beispiele: Wilde Karotten, Dill oder Bärenklau. Hier im Botanischen Garten: Pfingstrosen, Seerosen oder Magnolien.

Wie sehen Käferblumen aus? Käferblumen enthalten besonders viel Pollen und duften oft intensiv, manchmal stinken sie für uns Menschen aber richtig! Keine Sorge – das ist genau das Richtige für die Käfer. Häufig sind die Blüten weißlich oder gelb-braun gefärbt.

Abgeändert nach:

<https://www.biologie-seite.de/Biologie/Cantharophilie>

<https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/oekologisch-leben/balkon-und-garten/tiere/insekten/26768.html/>

https://www.sofatutor.at/biologie/videos/mundwerkzeuge-von-insekten#was-sind-mundwerkzeuge-definition****



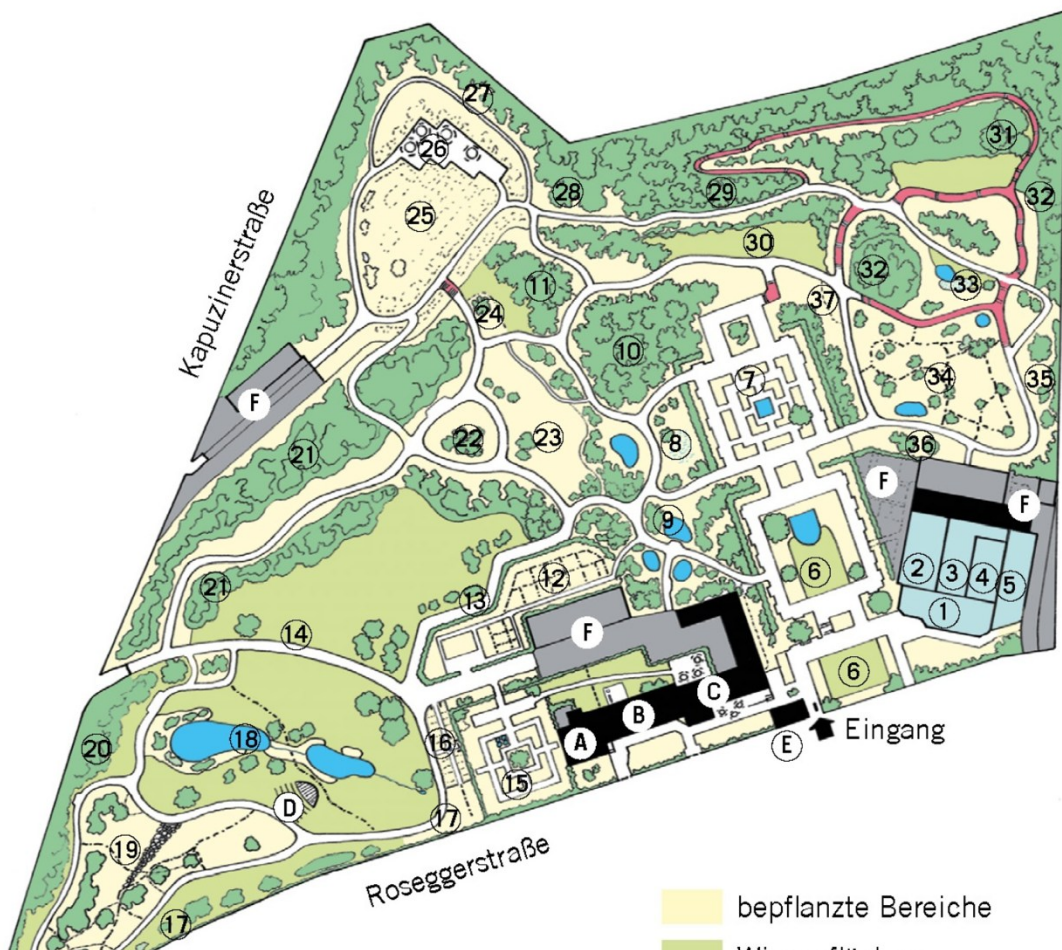
📍 ORT FINDEN

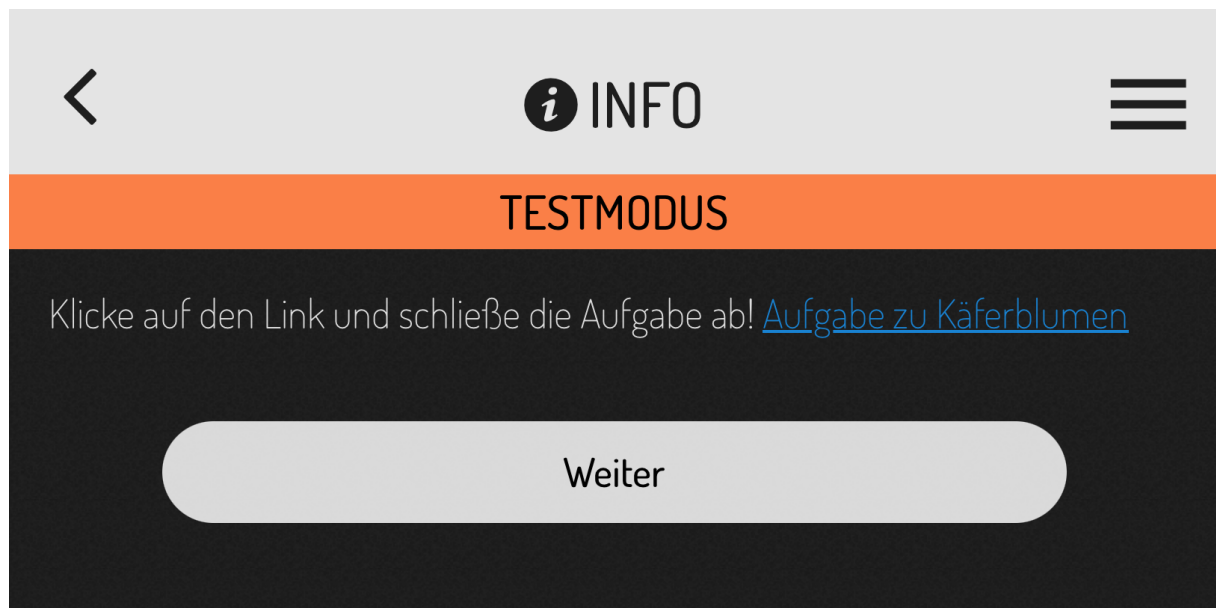


TESTMODUS

 max. 100 Punkte

Finde im Bereich 21 die Pfingstrosen.







TESTMODUS

Das hat schon super geklappt! Ihr seid einen Schritt weiter gekommen. Ab jetzt wird es knifflig. Kannst du dich noch erinnern, wie Blüten aufgebaut sind? Beschrifte die Pflanze korrekt und du bekommst den nächsten Tipp!

Klicke auf den Link und finde die richtige Lösung:

[Blütenaufbau](#)

Weiter

LearningApps.org

Apps durchsuchen

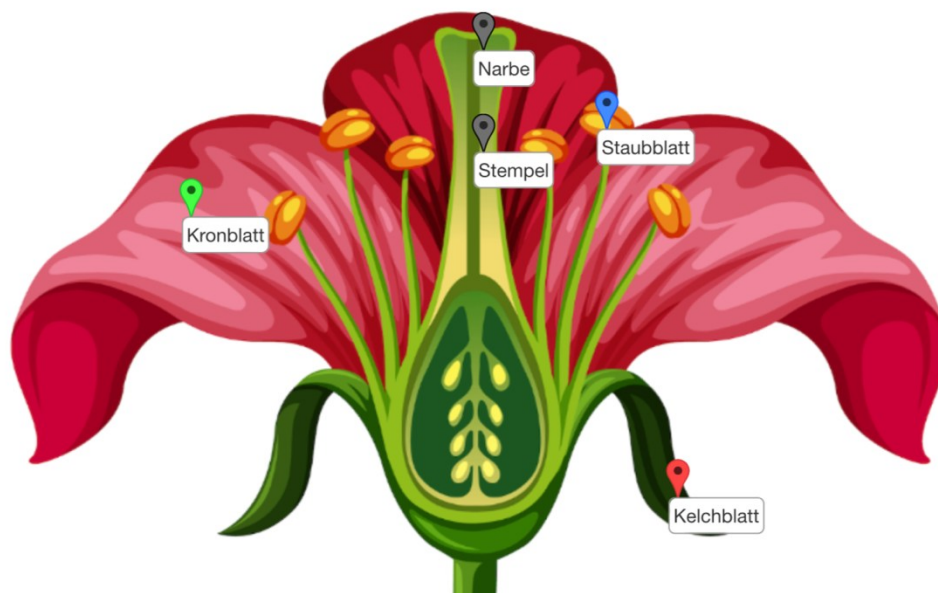
Apps durchstöbern

App erstellen

Kollektion erstellen

Anmelden

Blütenaufbau



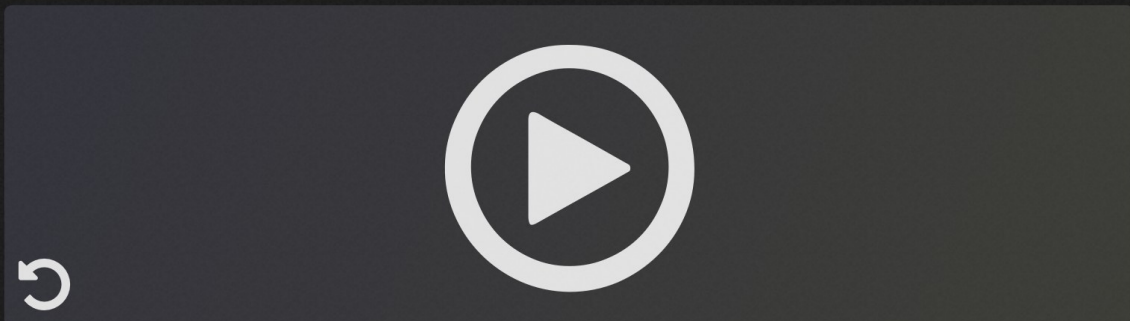
ähnliche App erstellen

merken in "Meine Sachen"



TESTMODUS

Was summt denn hier so? Wenn ihr in zu den Nutz- und Heilpflanzen (Bereich 12) geht, wird dieses Summen immer lauter und lauter. Was kann denn das sein? Ihr könnt auch auf Entdeckung gehen und in anderen Bereichen nach Bienen Ausschau halten. Zum Beispiel: Bauerngarten (16), Auwald (9) oder Schmuckanlagen (6).



freesound_community/Pixabay



TESTMODUS

Aufgabe 1: Eure Mission ist, genau zu beobachten, wie viele Pflanzen ihr findet, die gerade von Bienen besucht werden. Haltet eure Entdeckungen mit Fotos fest! Jeder darf Fotos machen und am Ende entscheidet ihr gemeinsam, welches Foto ihr als euer Bienen-Beweisbild hochladet.

Tipp: Achtet auf das Gewusel – manchmal verstecken sich die Bienen etwas tiefer in der Blüte.

 Auswählen

✓ Fertig



TESTMODUS

Manche Blüten sind besonders gut an die Körper von Bienen und Hummeln angepasst. Aber wie erkennen Bienen Pflanzen, die Nahrung enthalten? Manche Blüten haben sogenannte Saftmale. Das sind kleine Farbmuster auf den Blütenblättern, die den Weg zum Nektar sichtbar machen. Dazu gibt es auch einen starken Duft, der die Blüten anzieht, und große Blütenblätter, die zum Landen perfekt sind.

Auf den großen Unterlippen der Blüten erreichen Bienen Nektar und Pollen besonders leicht. Manchmal krabbeln sie sogar in die Blüten hinein. So können sie mit ihrem kurzen Rüssel zu ihrem Ziel kommen. Hast du gewusst, dass Gelb und Blau oft die Farbe der Nahrungspflanzen der Bienen sind? Diese beiden Farben können sie gut wahrnehmen. Zusätzlich gibt es noch ein sogenanntes UV-Licht Muster, das für uns Menschen unsichtbar ist!

Weiter



? QUIZ



TESTMODUS

 max. 100 Punkte

Welche Farbe haben Bienenblumen häufig?



Myriams-Fotos/Pixabay

- ☐ a. Rot und Schwarz
- ☐ b. Gelb und Blau
- ☐ c. Weiß und Braun
- ☐ d. Orange und Pink

Beantworten



? QUIZ



TESTMODUS

 max. 100 Punkte

Wie gelangen Bienen am besten zum Nektar in einer Blüte?



Lolame /Pixabay

- ☒ a. Sie setzen sich auf die große Unterlippe der Blüte.
- ☐ b. Sie beißen die Blütenblätter durch.
- ☐ c. Sie warten, bis andere Insekten den Nektar herausgeholt haben.
- ☐ d. Sie bohren ein Loch in den Blütenboden

? QUIZ



TESTMODUS

 max. 100 Punkte

 noch 36 Sekunden

Wie helfen Saftmale den Bienen?





📍 ORT FINDEN



TESTMODUS



max. 100 Punkte

Gut gemacht! Der Zahlencode ist: 14 Ihr begeben euch nun in die Tropen! Hast du gewusst, dass Vögel in vielen tropischen Regenwäldern in Afrika, Asien und Australien Blüten bestäuben können? Bewege dich in das Tropenhaus (2) und schaut euch genauer um. Macht euch auf warme und feuchte Luft gefasst – ganz wie im Regenwald!

Im Eingangshaus (1) und im Tropenhaus findet ihr einige Pflanzen, die in freier Natur von Vögeln bestäubt werden. Vor allem Kolibris freuen sich über diese Blüten!





TESTMODUS

Vogelbestäubung – Kolibris

Kolibris ernähren sich vom Nektar vieler tropischer Blüten. Dazu haben sie einen langen, dünnen Schnabel und darin eine noch längere Zunge. Am häufigsten besuchen Kolibris rote oder orange Blüten, die ihnen genügend Nektar bieten, denn ca. alle 15 Minuten benötigen sie wieder Nahrung. Dazu zählen vor allem im Regenwald sogenannte Bromelien. Ihre Blüten leuchten oft in kräftigem Rot und sie enthalten reichlich Nektar.

Wie wird aber der Pollen durch Vögel von einer Blüte zur nächsten Blütennarbe transportiert? Ganz einfach! Wenn ein Kolibri Nektar aus der bunten Blüte trinkt, bleibt dabei der Blütenstaub (=Pollen) am Schnabel oder am Kopf hängen. Fliegt er dann zur nächsten Blüte, bringt er den Staub auf die Narbe und so kann die Pflanze Samen bilden! Die Vögel gewinnen also Nahrung und die Pflanzen können sich erfolgreich fortpflanzen.





! AUFGABE



TESTMODUS

Findet im Tropenhaus zwei der vier Pflanzen. Schießt Fotos davon und erklärt, warum sie ganz typische Vogelblumen sind.

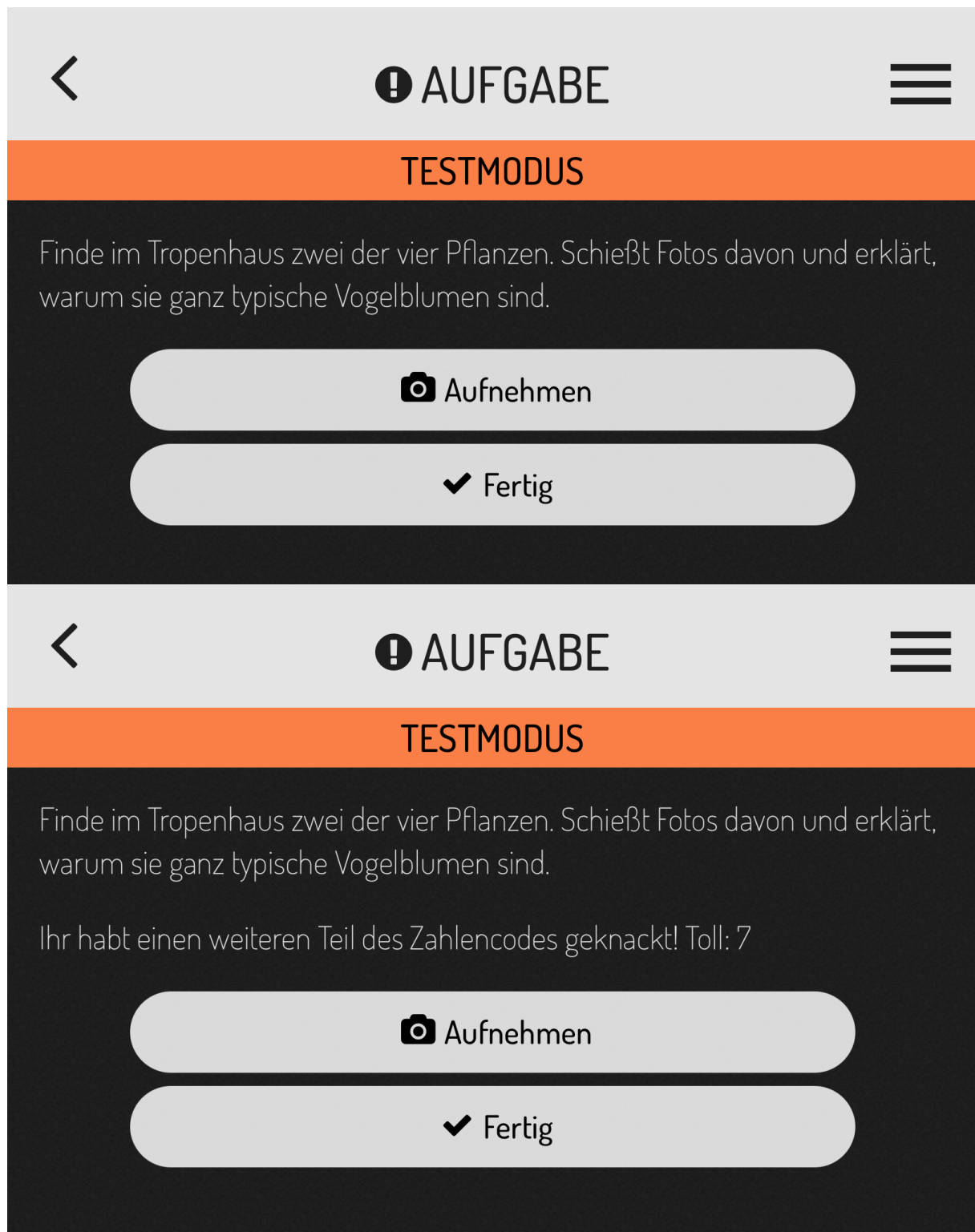
Achtung: Die Aufgabe wird dir 2x gestellt. Pro Aufgabe kannst du nur ein Foto bzw. die Erklärung hochladen!







Bill Lam/Pixabay





! AUFGABE



TESTMODUS

Du kannst dich schon als Profi-Biologin oder Biologe bezeichnen! Weiter so!

Überlegt als Gruppe: Welchen Grund könnte es geben, dass sich bei manchen Pflanzen die Blüten nur nachts öffnen?

✓ Fertig





TESTMODUS

Fledermäuse – Die Bestäuber der Nacht

Ein sehr besonderer Bestäuber ist die Fledermaus. Besonders in den Tropen, Subtropen und sogar in Wüstengebieten spielen sie eine wichtige Rolle als Bestäuber vieler Pflanzen.

Überlege kurz: Wann hast du das letzte Mal eine Fledermaus bei Tageslicht gesehen? Fledermäuse sind nachtaktiv, also dann, wenn die meisten anderen Bestäuber ruhen. Es gibt nämlich zahlreiche Blüten, die nur nachts geöffnet sind. Das liegt daran, dass es in der Nacht kühler und feuchter ist, so verlieren die Pflanzen weniger Wasser. Außerdem kann der Blütenstaub von der Sonne und der Hitze kaputtgemacht werden. Mit ihrer langen Schnauze und langen Zunge gelangen die Tiere tief in die Blüten rein und können so Nektar trinken. Dabei bleibt der Blütenstaub in ihrem Fell hängen. Wenn sie anschließend zur nächsten Blüte fliegen, gelangt der Pollen auf deren Narbe und die Bestäubung findet statt. Fledermausblumen sind meist groß und oft weiß oder gelb. Außerdem haben sie einen starken Geruch, der aber nicht immer gut für uns Menschen riecht! Beispiele für Pflanzen, die durch Fledermäuse bestäubt werden sind Bananen, Agaven oder sogar Kakteen.

Dein letzter Zahlencode lautet: 5



TESTMODUS



Birger Strahl/Unsplash

Verändert nach: <https://ssec.si.edu/stemvisions-blog/nature's-secret-pollinator> Borges, R.M., 2018. Dark matters: Challenges of nocturnal communication between plants and animals in delivery of pollination services. In: The Yale Journal of Biology & Medicine, 91(1), S. 33-42. Hess, D., 2019. Die Blüte: Struktur, Funktion, Ökologie, Evolution. Stuttgart: Ulmer. Leins, P., 2000. Blüte und Frucht: Aspekte der Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie. Stuttgart: Schweizerbart.

Weiter



! AUFGABE



TESTMODUS

Im Kakteenhaus gibt es eine Pflanze mit dem Namen "Königin der Nacht".
Finde sie und schieße ein Foto von ihr!

 Aufnehmen

✓ Fertig



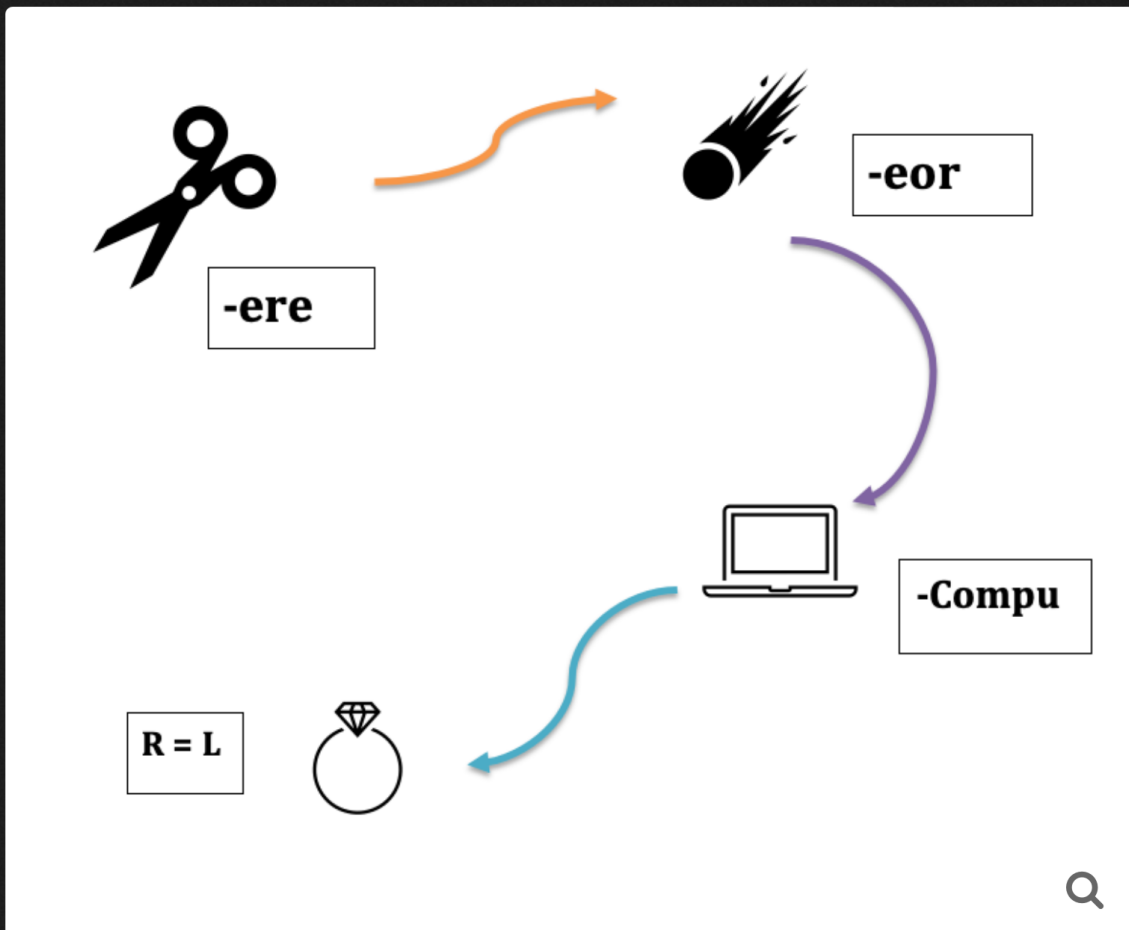
? QUIZ



TESTMODUS

 max. 100 Punkte

Du hast den Duftcode fast fertig geknackt! Neben Bienen, Vögeln und Käfer bestäuben aber auch noch andere Tiere Blüten. Findest du heraus welche?



Beantworten



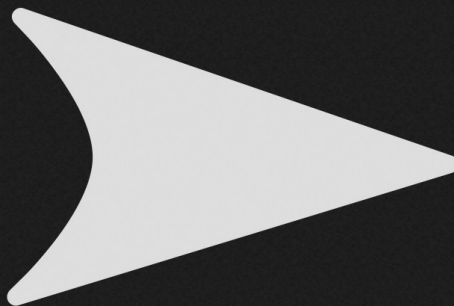
📍 ORT FINDEN



TESTMODUS

 max. 100 Punkte

Besonders beliebt bei Schmetterlingen ist der Sommerflieder (Buddleja).
Finde ihn im Botanischen Garten und atme den Duft tief ein. Wie riecht er für
dich?





TESTMODUS



max. 100 Punkte

Falterbestäubung

Setze folgende Wörter richtig ein: befruchtet / Landeplatz / Saugrüssel / violett / Blütenstaub / nachts / Tagfalterblumen / Nektar / Sommerflieder / süßen

Schmetterlinge und „Nachtfalter“ trinken mit ihrem langen Nektar aus Blüten. Manche Blüten sind sogar so tief, dass nur Falter an den gelangen. Wenn ein Schmetterling von Blüte zu Blüte fliegt, bleibt der an seinem Körper haften. Auf diese Weise werden Pflanzen bestäubt und , sodass neue Samen gebildet werden können. Man unterscheidet und Nachtfalterblumen. Tagfalterblumen sind nur am Tag geöffnet und sind oft rosa, rot oder . Wie der , an dem du gerade gerochen hast. Sie besitzen oft „Teller“ aus Blütenblättern, auf denen die

Schmetterlinge landen können. Durch ihren Nektar werden viele Bestäuber angelockt! Außerdem gibt es noch Nachtfalterblumen. Wie schon im Namen steckt, sind sie meist erst in der Dunkelheit geöffnet. Der süße Nektar wird erst produziert. Ihre Blütenblätter sind meist weiß. Die Nachtfalter schaffen es, den Nektar sogar ohne zu erreichen, denn sie trinken im „Schwirrflug“.

Verändert nach: Unterricht Biologie 474 (2022). S. 6

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/schmetterlingsbluetigkeit/5>

<https://klexikon.zum.de/wiki/Schmetterlinge>

Beantworten



? QUIZ



TESTMODUS

 max. 100 Punkte

Ihr seid spitze! Ihr habt 5 Zahlencodes gesammelt. Zur Erinnerung: 5 - 14 - 2 - 7 - 12

Jede Zahl entspricht einem Buchstaben. Nutzt die Tabelle, um den geheimen Begriff zu entschlüsseln. Welches Wort entsteht?

1	A / N
2	B / O
3	C / P
4	D / Q
5	E / R
6	F / S



? QUIZ



TESTMODUS

7	G / T
8	H / U
9	I / V
10	J / W
11	K / X
12	L / Y
13	M / Z
14	Ü





Herzlichen Glückwunsch, ihr habt es geschafft!

Absenden